



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Abrantes

Manutenção das Automotoras UTE 2240

EMEF

Relatório de Estágio

Hugo Alexandre Vital Costa Marques

Mestrado em Engenharia Mecânica

Projeto e Produção Mecânica

Abrantes/Julho/2016



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Abrantes

Hugo Alexandre Vital Costa Marques

Manutenção das Automotoras UTE 2240

EMEF

Relatório de estágio

Orientado por:

Doutor Bruno Miguel Santana Chaparro

Engenheiro João Pedro Rosário Ferreira

Escola Superior de Tecnologia de Abrantes

Relatório de estágio apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar

para cumprimento dos requisitos necessários

à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

RESUMO

O presente relatório apresenta o tipo de manutenção efetuada pela EMEF às automotoras UTE 2240 no Parque Oficinal do Centro situado no Entroncamento bem como melhorias no espaço oficial e uma abordagem à fiabilidade/disponibilidade destas unidades motoras.

A EMEF para garantir a fiabilidade do material circulante que repara, aplica a metodologia do RCM – Manutenção Centrada na Fiabilidade. A metodologia RCM é usada para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional, aumentando assim a disponibilidade do material circulante.

No presente relatório é apresentada uma análise de fiabilidade das 48 automotoras afetas ao POC que estiveram em serviço no período do estudo bem como a gestão da manutenção aplicada às UTE 2240 pertencentes à CP, que por sua vez se encontram à responsabilidade da EMEF no que respeita a operações de manutenção. Através da investigação prática pretende-se avaliar numa primeira fase e em contexto de sistema reparável a tendência das automotoras, de forma individual e global, em termos de fiabilidade, recorrendo-se desse modo a conceitos de processos estocásticos pontuais e à estatística do teste de *Laplace*.

Para tal, analisaram-se registos históricos das avarias de material e manutenção, conducentes a um determinado período de tempo. A identificação dos sistemas mais críticos da frota de automotoras, isto é, aqueles que apresentam um maior risco de falha, são um outro objetivo do estudo de fiabilidade, tendo-se recorrido nesse sentido ao Princípio de Pareto.

O Sistema de Produção *Lean* é um conjunto de atividades que tem como meta o aumento da capacidade de resposta às mudanças e a minimização dos desperdícios na produção. Este sistema tem como princípios: ter (e manter) os itens certos nos lugares certos, no tempo certo e na quantidade correta, trabalhando no sentido de uma Melhoria Contínua procurando a Qualidade Ótima.

Palavras-chave: EMEF, RCM, Manutenção, Fiabilidade, LEAN

ABSTRACT

This report introduce the kind of maintenance made by EMEF to the railcars UTE 2240 in the official center park situated in Entroncamento as well as improvements in the official place and approach to the Reliability/Availability of these motor units.

EMEF to ensure the Reliability of the rolling stock that repairs, applies the methodology of RCM- Reliability Centered Maintenance. The RCM methodology is used to determine the maintenance requirements of any physical item in its operational context, increasing the rolling stock availability.

In this report is presented a reliability analysis of the 48 railcars related to the POC that were in service at the study period as well as the maintenance management applied to the UTE 2240 property of CP, which in turn are EMEF responsibility what concerns maintenance operations. Through practice investigation it is intended to evaluate initially and in context of repairable system the railcars tendency, individually and globally, in terms of reliability, drawing up this way to concepts of specific stochastic processes and to Laplace test statistic.

To do this, were analyzed historical records of the maintenance and material malfunctions, leading to a specific period time. The most critical systems identification of the railcars fleet, namely, the ones that presents an increased risk failure, are another goal of reliability study, with recourse this sense to the Pareto Principle.

The LEAN Production System is a set of activities which aims the increased responsiveness capacity to the changes and the minimization of production wastes. This system has as its principles: Have (and Keep) the right items in the right places as well as in the right quality, working to a continuous improvement searching the Great Quality.

Key-words - EMEF, RCM, Maintenance, Reliability, LEAN

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à EMEF por me ter permitido realizar o estágio na empresa, com a certeza de ser uma mais-valia para a minha formação, pois pude aliar conhecimentos teóricos adquiridos à componente prática.

Gostaria de agradecer ao Engenheiro Monteiro dos Reis e ao Engenheiro Amândio Gonçalves pela celeridade e disponibilidade em relação ao pedido e à documentação necessária para a elaboração do estágio.

Gostaria de agradecer também ao Doutor Bruno Chaparro pelo acompanhamento técnico e metodológico no âmbito dos trabalhos desenvolvidos.

O meu agradecimento também para o Engenheiro João Pedro Ferreira, pela orientação e disponibilização dos meios necessários para a elaboração do estágio.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer à minha família pelo apoio durante toda esta etapa.

A todos, o meu muito obrigado.

“A maioria das pessoas não planeia fracassar,
fracassa por não planejar.” (John L. Beckley).

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
2. Plano de Estágio	2
3. Estrutura Organizacional da EMEF	3
4. Manutenção	4
4.1. Manutenção Corretiva.....	5
4.2. Manutenção Preventiva.....	5
4.2.1. Sistemática	6
4.2.2. Condicionada.....	7
4.2.2.1. Análise de Vibrações	7
4.2.2.2. Análise por Ultrassons.....	10
4.2.2.3. Inspeção Visual	11
4.2.2.4. Termografia	11
4.2.2.5. Análise de Lubrificantes em Serviço.....	11
4.3. Níveis de Manutenção	13
4.4. Objetos de Manutenção	15
4.5. Centro de Custos	16
4.6. Ordem de Trabalho	17
4.6.1. Elementos de Gestão de uma Ordem de Trabalho	18
4.7. Representação em Fluxograma dos Circuitos de uma OT.....	20
5. RCM.....	21
5.1. Fiabilidade dos Sistemas.....	22
5.2. Requisitos de Fiabilidade.....	24
5.3. Falha.....	25
5.3.1. Estatística das Falhas.....	25
5.4. Sistemas Reparáveis	25

5.5.	Indicadores de Desempenho	27
5.6.	Técnicas de Gestão de Manutenção	29
6.	Indicadores de Desempenho da Gestão da Manutenção	29
6.1.	MTBF.....	30
6.2.	MTTF.....	31
6.3.	MTTR	31
6.4.	Disponibilidade.....	31
6.5.	Fiabilidade	32
6.5.1.	Estatística das Falhas.....	32
6.5.2.	Análise de Sobrevivência	33
6.5.3.	Distribuição de Weibull	34
6.5.4.	Teste de Laplace.....	41
7.	Manutibilidade	42
8.	Automotora UTE 2240.....	44
8.1.	Funcionamento Elétrico	45
8.1.1.	Captação de Energia.....	45
8.1.2.	Transformador de Referência.....	47
8.1.3.	Transformador Principal	47
8.1.4.	Sistema de Propulsão	48
8.2.	Funcionamento Pneumático.....	50
8.2.1.	Produção de Ar.....	50
8.2.2.	Tratamento de ar.....	54
8.2.3.	Sistema de Freio	56
9.	Manutenção das Automotoras UTE 2240	59
9.1.	Plano de Qualidade	59
9.2.	Visitas de Manutenção Periódica.....	61
9.3.	Instruções de trabalho das Válvulas Pneumáticas	68
9.3.1.	Instrução de Trabalho do Ensaio de Electroválvula.....	70

10.	Abordagem ao Modo de Falha PEV	73
11.	Gestão LEAN na Manutenção	74
11.1.	A Filosofia LEAN	74
11.2.	Manutenção LEAN	77
11.3.	Ferramentas LEAN	79
11.3.1.	Técnicas de Brainstorming	82
11.3.2.	Fluxogramas	82
11.3.3.	Diagrama de Causa e Efeito	83
11.3.4.	Mapa do Fluxo de Valor	84
11.3.5.	Gráfico de Pareto	85
11.4.	Áreas de Atuação da Gestão Lean Maintenance	86
11.4.1.	Política da Manutenção	86
11.4.2.	Controlo do Material	86
11.4.3.	Sistemas de Ordens de Trabalho	86
11.4.4.	Registos dos Equipamentos	86
11.4.5.	Manutenção Preventiva e Corretiva	87
11.4.6.	Planeamento e Calendarização dos Trabalhos.....	87
11.4.7.	Controlo de Atrasos	87
11.4.8.	Sistema de Prioridades	87
11.4.9.	Medição do Desempenho	88
11.5.	Princípios da Gestão Lean Maintenance	88
11.6.	Método e Ferramentas KAIZEN LEAN	89
12.	Análise de Fiabilidade das Automotoras UTE 2240	90
12.1.	Evolução da Taxa de Falhas de cada Automotora UTE 2240.....	91
12.2.	Evolução da Taxa de Falhas da Frota Automotora UTE 2240	98
12.3.	Análise de Avarias das Automotoras UTE 2240	99
12.4.	Estudo do MTBF sem as Falhas que não Provocam Imobilização	102
12.5.	Disponibilidade da Frota UTE 2240	104

13.	Melhoria contínua.....	105
13.1.	Valor.....	106
13.2.	Desperdícios	106
13.3.	Melhoria no Espaço Oficinal.....	108
13.3.1.	Elevação de Veículos.....	108
13.3.2.	Identificação do Problema	109
13.3.3.	Proposta de Resolução.....	109
14.	Conclusão	114
15.	Referências	116

Anexos

Anexo A. Tabelas de Distribuição.

Anexo B. Tabelas e Gráficos do Cálculo da Fiabilidade.

Índice de figuras

Figura 1 – Ordenamento operacional	3
Figura 2 - Organigrama da EMEF.....	3
Figura 3 - Formas de manutenção.	5
Figura 4 - Ordem de trabalho.	18
Figura 5 - Fluxograma do circuito de uma OT.....	21
Figura 6 - Exemplo de tempos "De" e "Entre" Falhas.....	27
Figura 7 – Informação censurada	34
Figura 8 – Distribuição de Weibull para diversos valores de β	36
Figura 9 – Curva da banheira	37
Figura 10 – Disposição da UTE 2240	44
Figura 11 – Automotora UTE 2240.....	44
Figura 12 – Sistema de captação de energia UTE 2240.	46
Figura 13 - Transformador principal.	48
Figura 14 - Contentor do sistema de propulsão.....	49
Figura 15 - Compressor de parafuso	51

Figura 16 - Constituição do compressor.....	52
Figura 17 - Perfil da engrenagem do motor.....	53
Figura 18 - Diagrama Temperatura vs Humidade.....	54
Figura 19 - Torres de secagem.	55
Figura 20 – Ciclo do plano de manutenção preventivo.....	59
Figura 21 – Fluxograma das intervenções.....	60
Figura 22 - <i>Bogie</i> da automotora UTE 2240.	61
Figura 23 - Suporte dos conversores.	62
Figura 24 - Componentes da UTE 2240.....	62
Figura 25 - Porta de acesso.....	63
Figura 26 - WC da automotora UTE 2240.	64
Figura 27 - Unidade de ar condicionado.	64
Figura 28 - Unidade de ensaio de ultrassons.	65
Figura 29 - Engate automático.....	66
Figura 30 - Cofre das baterias.	67
Figura 31 - Banco de ensaio de pneumáticos.	68
Figura 32 - Esquema pneumático do banco de ensaio de pneumáticos.....	69
Figura 33 - Ensaio da válvula SIFA	70
Figura 34 – Vista de cima da válvula SIFA	72
Figura 35 – Vista em corte da válvula SIFA	73
Figura 36 - Cronograma do sistema de gestão da produção.....	74
Figura 37 – Ciclo de <i>Deming</i> ou metodologia PDCA.....	81
Figura 38 - Diagrama de Ishikawa aplicados a problemas da qualidade.....	83
Figura 39 - Exemplo de mapa do fluxo de valor.	84
Figura 40 - Exemplo de um gráfico de Pareto aplicado à manutenção	85
Figura 41 - Significado de KAIZEN.	89
Figura 42 – Dias de duração do estudo.	92
Figura 43 – Gráfico do teste de Laplace da UTE 2266.	93
Figura 44 - Gráfico do teste de Laplace da UTE 2274.....	95
Figura 45 – Representação gráfica do teste de Laplace da frota UTE 2240	98
Figura 46 – Diagrama de Pareto dos grupos de sistemas das UTEs 2240.....	101
Figura 47 - Diagrama de Pareto dos subsistemas das UTEs 2240.	102
Figura 48 - Ilustração dos 8 desperdícios.	108
Figura 49 - Levantamento de um veículo	109

Figura 50 – Dique de levantamentos.	110
Figura 51 - Armário devoluto no local dos levantamentos.	111
Figura 52 - Binários de aperto de componentes.	112
Figura 53 - Ponte rolante.	113

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características da unidade tripla elétrica.	45
Tabela 2 – Periodicidade das intervenções de manutenção.....	60
Tabela 3 – Parâmetros para o calculo do teste de Laplace da UTE 2266.....	93
Tabela 4 – Dados para o cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2266.	94
Tabela 5 - Parâmetros para o cálculo do teste de Laplace da UTE 2274.	94
Tabela 6 – Dados para o cálculo do MTBF e MTBF mínimo garantido da UTE 2274.	96
Tabela 7 – Resumo dos indicadores de desempenho da frota.	97
Tabela 8 – Parâmetros para o teste de Laplace da frota.	98
Tabela 9 – Número de falhas ocorridas por grupo de sistemas e respetivo percentual acumulado.....	100
Tabela 10 – Número de falhas ocorridas nos subsistemas e o respetivo percentual acumulado.....	101
Tabela 11 - Dados do estudo do MTBF sem as falhas que não provocam imobilização.	103
Tabela 12 – Disponibilidade da frota UTE 2240.....	104

Lista de Abreviaturas

EMEF – Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário

POC – Parque Oficinal Centro

UTE – Unidade Tripla Elétrica

PQ – Plano de Qualidade

PEV – Programa de Exploração de Vida

OT – Ordem de Trabalho

AFNOR – Association Française de Normalisation

RCM – Manutenção Centrada na Fiabilidade - (*Reliability Centered Maintenance*)

CM – Ciclo de Manutenção

MTTF – Tempo Médio para as Falhas - (*Mean Time to Failure*)

MTBF – Tempo Médio entre Falhas - (*Mean Time Between Failures*)

MTTR – Tempo Médio da Reparação - (*Mean Time To Repair*)

KPI's – Indicador de desempenho – (*Key Performance Indicators*)

PMCF – Ponte Monofásica de Comutação Forçada

IGBT – Transístor Bipolar de Porta Isolada - (*Insulated Gate Bipolar Transistor*)

OCU – Ondulador do Conversor de Tração

VCB – Circuito de Extinção por Vácuo – (*Vacuum Circuit Breaker*)

FIP – Sistema de Informação do Comboio

RIOM – Módulo Remoto de Entradas e Saídas

DDU – Monitor do Maquinista

MPTIS – Unidade Principal de Informação do Comboio

PECU – Unidade de Comunicação Áudio do Sinal de Alarme

CCUI_P – Eletrônica de Comando do PMCF

MPTCS – Unidade Principal de Comando e Controlo do Comboio

MICROMICEF – Unidade de Comando do Freio

SUPERVISOR – Eletrônica do Comando do Conversor de Tração

TS/TNS – Trabalho Sistemático/Trabalho Não Sistemático

Símbolos

D - Disponibilidade

R (t) – Função Fiabilidade

f (t) – Função Densidade de Probabilidade

h(t) – Função de Risco

λ – Taxa de Avarias

n_f – Número de Falhas

T – Tempo de Duração de Ensaio

α – Nível de Significância

n – Dimensão da Amostra

$\rho (t)$ – Taxa de Falhas do Modelo de Crow

H_0/H_1 – Hipótese Nula/Hipótese Alternativa

$\hat{\theta}$ – MTBF

θ_i – MTBF mínimo

Z_0 – Estatística de Teste

1. Introdução

Este relatório surge no âmbito do estágio curricular do curso de Mestrado em Engenharia Mecânica de Projeto e Produção Mecânica, da Escola Superior de Tecnologia de Abrantes, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

A EMEF é uma empresa de prestação de serviços na área da manutenção de equipamento ferroviário. Esta empresa foi fundada em 1993, ficando responsável pela manutenção feita até então pela CP (Comboios de Portugal)[1]. Desde então, a procura de aperfeiçoamento foi evidente, e com o empenho de todos os seus colaboradores foi possível chegar ao patamar de qualidade que tem hoje. Esta empresa tem por base preservar na íntegra pessoas, bens e serviços.

Com o intuito de proporcionar ao cliente um transporte fiável e seguro, paralelamente em vista à obtenção de vantagem competitiva, as empresas têm vindo a demonstrar gradualmente o interesse em apostar na análise de estratégias de fiabilidade e gestão da manutenção. Isto porque a adoção de políticas de manutenção adequadas contribuem para manter o custo do ciclo de vida do sistema reduzido.

Assim, para conseguir otimizar economicamente um equipamento torna-se indispensável otimizar também os custos de manutenção. Tal só será possível, realizando a monitorização do comportamento operacional dos equipamentos, isto é, conhecendo a sua fiabilidade. Porém, embora esse conhecimento seja imprescindível, é insuficiente se não existir uma análise económica e financeira das consequências da escolha de uma determinada política de manutenção.

2. Plano de Estágio

Para a elaboração deste estágio foram propostas melhorias e/ou atualizações no processo de manutenção das automotoras UTEs 2240, bem como a elaboração de novas instruções de trabalho. Na sequência deste estágio na EMEF, foi proposto o seguinte plano na manutenção das automotoras UTEs 2240 no Parque Oficinal Centro (POC):

- ✓ Acompanhamento das visitas inseridas no plano de manutenção preventiva das automotoras UTEs 2240;
- ✓ Acompanhamento da elaboração do plano global de manutenção preventiva das automotoras UTEs 2240;
- ✓ Acompanhamento da elaboração de instruções de trabalho das visitas de manutenção preventiva periódica – Parte mecânica e Elétrica das UTEs 2240 com a finalidade de introduzir a visita V2.5, a sua ligação com o Plano de Qualidade (PQ) e o Ciclo de Manutenção (CM);
- ✓ Abordagem ao modo de falha, PEV;
- ✓ Alteração das instruções de trabalho dos ensaios de freio das UTEs 2240 com recurso a registos informáticos;
- ✓ Elaboração de instruções de trabalho de ensaio das válvulas pneumáticas inseridas no plano de manutenção preventiva;
- ✓ Análise das principais avarias nos sistemas mecânicos/pneumáticos das UTEs 2240;
- ✓ Análise da fiabilidade dos principais equipamentos mecânicos/pneumáticos que equipam a unidade;
- ✓ Dentro do contexto oficial, realizar análise das condições de elaboração e propostas de melhoria no espaço oficial, tendo por base a filosofia LEAN, com análise custo benefício;
- ✓ Análise de índices de disponibilidade/fiabilidade desta série de automotoras.

3. Estrutura Organizacional da EMEF

A figura 1 apresenta o ordenamento operacional da EMEF que se divide em quatro grandes polos operacionais e a figura 2 apresenta o organograma da empresa.



Figura 1 – Ordenamento operacional [1].

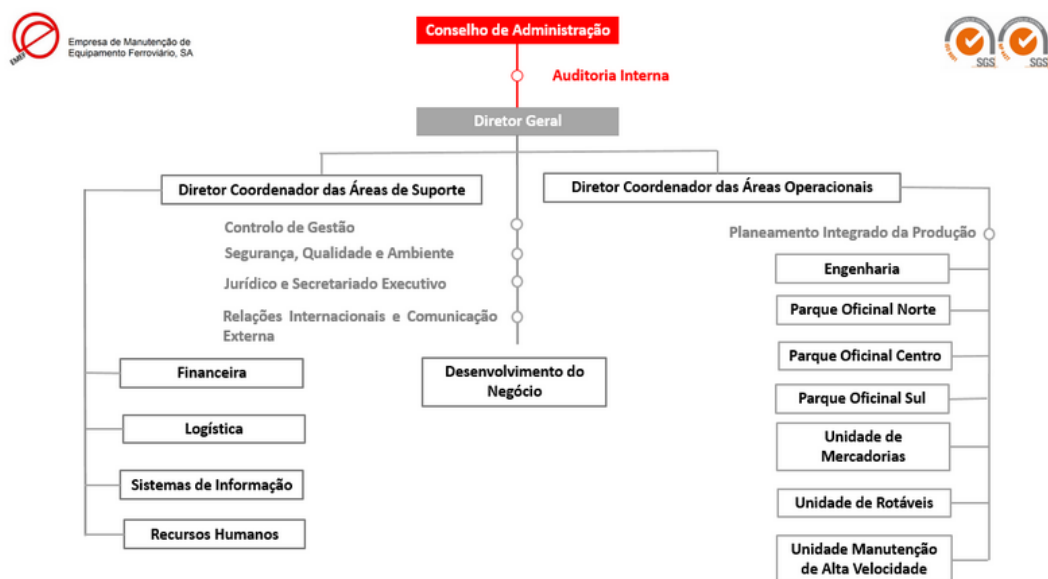


Figura 2 - Organograma da EMEF[1].

A EMEF possui o seu sistema de Gestão da Qualidade certificado desde final de 1999/início do ano 2000 pelo Organismo de Certificação APCER. Dentro do ciclo de certificação regulamentado, em Dezembro de 2015, a EMEF foi de novo submetida à auditoria de acompanhamento da certificação NP EN ISO 9001:2008 (Sistema de Gestão da Qualidade) e NP 4427:2004 (Sistema de Gestão de Recursos Humanos), agora pelo Organismo de Certificação SGS ICS, mantendo a certificação nas referidas normas.

O Sistema de Gestão da Qualidade da empresa está desenvolvido de modo articulado com os restantes sistemas, para possibilitar uma adequada integração de elementos e processos específicos, como é o caso do Sistema de Gestão de Recursos Humanos conforme norma NP 4427:2008 (coordenação via Direção de Recursos Humanos) e do Sistema de Gestão da Qualidade do Laboratório de calibração do Entroncamento – acreditado conforme NP EN ISO/IEC17025 [1].

O Sistema de Gestão de Recursos Humanos (SGRH) segue os requisitos da NP 4427, pela qual está certificado desde 19 de Janeiro de 2012 estando este articulado com o Sistema de Gestão da Qualidade certificado da EMEF, de acordo com a NP EN ISO 9001, com a NP EN ISO/IEC 17025 e com o Regulamento (UE) 445/2011 [1].

4. Manutenção

A determinação da estratégia ou estratégias de manutenção a serem aplicadas no processo, é a base da política de manutenção. O termo “política de manutenção” envolve um leque bem maior de variáveis do que apenas a escolha da forma de se fazer as intervenções nas máquinas. São as ferramentas organizacionais que tornam possível o perfeito exercício da manutenção, as técnicas de planeamento, índices de qualidade e o sistema de gestão.

Podemos generalizar e descrever as diferentes formas de manutenção segundo a figura 3.

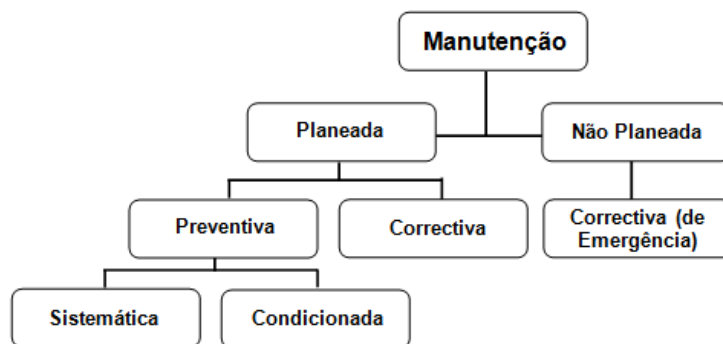


Figura 3 - Formas de manutenção.

As intervenções de manutenção podem ser, essencialmente, de duas naturezas:

- ✓ Manutenção *corretiva*, no caso das falhas súbitas e imprevisíveis;
- ✓ Manutenção *preventiva*, no caso de degradação progressiva

4.1. Manutenção Corretiva

A manutenção *corretiva* é efetuada após a constatação de uma anomalia num órgão, com o objetivo de restabelecer as condições que lhe permitam cumprir a sua missão[2]. Se a anomalia se verificar de forma catastrófica dizemos que ocorreu uma avaria e a Manutenção tem de intervir de emergência. Se a anomalia se revelar de forma progressiva (por exemplo, um ruído crescente) a intervenção da Manutenção pode ser planeada para o momento mais oportuno.

4.2. Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva pode ser classificada como todo o tipo de manutenção realizada em máquinas que não estejam em falha, estando com isso em condições operacionais [2].

A manutenção preventiva é sempre planeada, podendo ser sistemática ou condicionada:

4.2.1. Sistemática

As intervenções *sistemáticas* desencadeiam-se periodicamente, com base no conhecimento da lei de degradação, aplicável ao caso do componente particular e de um risco de falha assumido. As intervenções por *controlo de condição* desencadeiam-se no fim da vida útil dos componentes, momento que é possível prever, medindo as tendências dos parâmetros que refletem a sua degradação através de técnicas de controlo de condição (análises de vibrações, de temperaturas, de contaminantes nos óleos, etc.).

São serviços efetuados em intervalos de tempo pré-determinados ou de acordo com critérios prescritos, destinados a reduzir a probabilidade de falha. Este tipo de manutenção planeada oferece uma série de vantagens para as máquinas em relação à manutenção corretiva.

Para chegar a um ponto de equilíbrio, deve existir uma ideia consistente dos materiais necessários para se manter os componentes mecânicos em perfeito estado de utilização. Essa visualização só é possível através de um plano preventivo bem elaborado.

O plano e controlo de manutenção são ferramentas poderosas no que diz respeito à logística de uma empresa. Para tal, é necessário ter em consideração uma série de variáveis, sendo uma delas o estado operacional das máquinas e a sua programação de manutenção. Logo, sem a manutenção preventiva, seria quase impossível esta análise e determinação de datas.

As instruções de trabalho são definidas através de uma pré-análise dos técnicos de manutenção de modo a proporcionar uma redução drástica no fator improvisação. Desta forma, o índice de qualidade do serviço alcança para um nível mais alto que numa estrutura só baseada em manutenção corretiva.

Qualquer processo, seja ele qual for, precisa de uma adaptação constante e a aplicação de melhoria contínua mostra que o estudo e a verificação de atividades proporcionam uma melhoria imprescindível para um bom método de trabalho. A manutenção preventiva dá-nos esta condição de melhoramento de métodos, fazendo com que os métodos sejam atualizados constantemente.

4.2.2. Condicionada

A manutenção preventiva condicionada refere-se às intervenções por controlo de condição e desencadeiam-se no fim de vida útil dos componentes, momento em que é possível prever, medindo as tendências dos parâmetros que refletem a sua degradação através das técnicas de controlo de condição, a taxa de degradação do componente, até ao eventual colapso/falha.

De acordo com esta filosofia de manutenção, deve-se proceder ao controlo sistemático da condição dos equipamentos, através da medição de parâmetros que o caracterizam, de modo a detetar as situações em que se ultrapassam os valores de referência para os parâmetros selecionados, apresentando-se uma situação de início de avaria.

A deteção de anomalias pode ser obtida de várias formas: análises de vibrações, de temperaturas, de contaminantes nos óleos ou, ainda de acordo com a natureza das anomalias, com ensaios por ultrassons, líquidos penetrantes ou outras formas de diagnóstico.

A manutenção condicionada difere da manutenção sistemática por passar da execução de uma manutenção de forma sistemática, para a execução de um controlo de condição, executando-se a manutenção só quando esta se torna necessária.

Para qualquer uma das fases de manutenção, é necessário descartar qualquer falha do material circulante para garantir a vida útil do material. Para isso, efetuam-se ensaios não destrutivos, seja na manutenção preventiva ou corretiva.

4.2.2.1. Análise de Vibrações

De uma forma genérica, grande parte das máquinas/equipamentos vibram porque incluem componentes móveis que estão sujeitos a atrito ou que rodam juntamente com componentes adjacentes, gerando vibrações devido às rugosidades entre as partes que se tocam. As vibrações originadas pelo desequilíbrio das partes rotativas e a aceleração dos componentes que se movem ao longo das partes lineares, causam ruído ao longo da máquina/equipamento. A escolha entre monitorização por ruído e monitorização por vibração deve ser decidida para cada situação considerada.

Os níveis de ruído são mais fáceis de medir, uma vez que não é necessário usar nenhum equipamento ligado à máquina/equipamento. As medidas de vibração são mais seletivas e mais repetíveis, e por estas razões são geralmente preferidas à monitorização por ruído[3].

O equipamento mais utilizado quer para a aquisição de sinais de ruído quer para a aquisição das vibrações utiliza transdutores de diferentes tipos.

Para a medida do ruído, é utilizado um transdutor de ruído, que consiste num microfone capaz de converter sinais de pressão acústica em sinais elétricos. O equipamento de conversão é normalmente um elemento piezoelétrico ou um elemento capacitivo acoplado a um diafragma sensível. Para a aquisição de vibrações, o transdutor mais usual é o acelerómetro piezoelétrico, que se caracteriza por ser pequeno, de construção robusta, com larga escala de variação de frequência e limites de frequência dinâmicos. A principal desvantagem de um transdutor que opera com efeito piezoelétrico é o facto de o movimento ser transmitido através de uma carga elétrica que ao se dissipar condiciona o equipamento e o cabo. Se a razão de alteração do movimento é baixa, essa dissipação afeta significativamente a leitura o que leva a colocar o limite inferior de frequência na escala habitual do equipamento de medida. No entanto, a utilização de modernas cargas amplificadoras proporciona medidas acima dos 0,1 Hz.

O problema apresentado por este tipo de transdutor é comum a esta técnica de aquisição de vibrações, cujos transdutores e cablagem associada podem originar distorções/atenuações do sinal, sendo necessário proteções contra ambientes adversos e localizações adequadas para a obtenção de bons resultados [4].

Monitorização de Vibrações

A monitorização em carga é um dos métodos mais usados pela monitorização de vibrações. A sua utilização pode ser feita de duas maneiras.

- ✓ Monitorização “*off-line*” – Medidas realizadas no local da máquina/equipamento com a ajuda de equipamento portátil.

É a técnica normalmente utilizada quando as alterações na máquina/equipamento a monitorar são espaçadas em períodos longos, tornando-se mais fácil e mais económico realizar medições com a ajuda de equipamento portátil.

O intervalo entre medidas, determinado experimentalmente pode ser de uma semana no caso por exemplo da máquina/equipamento a monitorar estar sujeita a avarias frequentes, ou de um mês por exemplo, quando as avarias não são frequentes. Em conclusão, pode dizer-se que a frequência da monitorização deve ser adaptada à experiência de operação relativamente à frequência das avarias, severidade dos defeitos dessas avarias e grau de aviso obtido pela técnica de monitorização. As curvas de vida das máquinas/equipamentos em questão ajudam ainda a determinar a frequência da monitorização.

- ✓ Monitorização “*on-line*” – Monitorização contínua ou periódica com instrumentos de medida, permanentemente instalados.

Esta técnica de monitorização é utilizada quando a máquina/equipamento é caracterizada por avarias repentinas e imprevistas, e/ou quando os resultados da avaria são completamente inaceitáveis.

Os programas de manutenção condicionada baseados no controlo de vibrações utilizam uma das seguintes técnicas:

– **Medidas em Banda Larga**

Esta técnica apoia-se nos valores das vibrações medidas sobre uma banda larga de frequências em vários pontos de um equipamento. Comparando estes resultados com os provenientes de uma máquina nova, ou com tabelas referência, pode determinar-se o estado de funcionamento do equipamento. Este processo não fornece nenhuma informação sobre as diferentes frequências nem sobre a dinâmica do movimento que gerou o sinal recolhido.

– **Medidas em Banda Estreita**

Esta técnica permite controlar a energia proveniente de uma banda de frequências específica, controlando as frequências provenientes de determinados componentes ou de certos modos de avaria. É um processo que permite controlar rapidamente o estado mecânico de certos órgãos sensíveis num equipamento.

– Análise de Assinatura

Contrariamente aos métodos anteriores, esta técnica fornece a representação visual das várias frequências da vibração produzida por um equipamento, sendo possível a pessoal experiente, diagnosticar anomalias a partir da assinatura do equipamento.

Colocando acelerómetros em pontos pré-determinados do equipamento, é possível monitorizar as vibrações a que o componente está sujeito. A análise destas vibrações fornecerá uma série de dados sobre o estado funcional de um determinado componente, observando a evolução do seu nível ao longo do tempo.

4.2.2.2. Análise por Ultrassons

Este método baseia-se na emissão de sons de elevada frequência (muito acima do limite audível) na superfície que se pretende avaliar. O som provoca a vibração mecânica do material constituinte dos equipamentos, vibração que depende não só da frequência e amplitude da excitação provocada, mas também do material, da geometria e da massa desses componentes.

Se existirem vazios de material (por exemplo, quando existem fissuras, poros, etc.), os ecos recebidos são distorcidos, uma vez que a velocidade do som através desses vazios é menor. Neste método é necessária a existência de um bloco padrão (representativo da superfície a avaliar) para que se possa comparar a resposta obtida com aquela que se obtém através da superfície isenta de defeitos. Outro aspeto fundamental no sucesso da implementação desta técnica, é a preocupação em minimizar os efeitos decorrentes da interface que se estabelece entre a superfície da peça a avaliar e o equipamento de medição. A competência e experiência dos executantes e intérpretes são essenciais para a correta avaliação da situação, nomeadamente no que toca à distinção entre anomalias inócuas e verdadeiros defeitos.

Os ultrassons são muito utilizados, não só na deteção de defeitos, mas também na medição da espessura de peças. Através desta técnica é possível obter informações bastante úteis e precisas acerca da dimensão dos defeitos mas também no que toca à profundidade a que estes se encontram.

Esta técnica é usada na EMEF para inspecionar os veios dos rodados do material circulante e elementos estruturais em zonas mais propensas à sua ocorrência pelo tipo de esforços a que estão sujeitos.

4.2.2.3. Inspeção Visual

A inspeção visual é uma técnica de primordial importância especialmente quando aplicada regularmente. Permite detetar fugas, desaperto de componentes, fissuras, etc. Permite assim detetar muitas das alterações que se detetam com instrumentos sofisticados, a partir de determinados valores, bem como muitos outros que só os sentidos humanos podem detetar. É portanto um tipo de inspeção que deverá estar sempre presente, mesmo que outros meios de tecnologia avançada sejam utilizados.

4.2.2.4. Termografia

É uma técnica que permite visualizar e medir a energia térmica emitida pelos equipamentos, sendo possível localizar os pontos quentes, sendo estes a origem de anomalias. Estes equipamentos permitem visualizar as imagens infravermelhas, sendo assim possível observar as temperaturas dos vários pontos de um dado equipamento. A termografia é aplicável no controlo de anomalias tipo que se enumeram [5]:

- No sector elétrico – deteção de desapertos em terminais, oxidação de contactos, envelhecimento do material e sobrecargas.
- Nos isolamentos térmicos – na deteção de anomalias em isolamentos provocadas por deficiente montagem, envelhecimento ou pontes térmicas.
- Nos refratários – na avaliação do seu estado em fornos, caldeiras, chaminés, etc.
- Nos equipamentos mecânicos – a distribuição anormal da temperatura.

4.2.2.5. Análise de Lubrificantes em Serviço

A análise de óleos é uma importante ferramenta da manutenção preventiva. Recentemente utilizam-se com maior frequência as análises espectrométricas de partículas de desgaste, a fim de definir políticas de manutenção preventiva[6].

Algumas formas de análise de óleo de lubrificação poderão dar indicação antecipada e precisa sobre uma avaria localizada num elemento com determinadas propriedades químicas.

A medição das quantidades de metais existentes nos óleos pode assinalar padrões de desgaste dos órgãos lubrificados, dando indicação de uma avaria mecânica iminente.

Até há pouco tempo o uso de análises, nomeadamente as espectrométricas, era um processo moroso e caro. As análises utilizavam os processos laboratoriais tradicionais, demorados, e requeriam mão-de-obra especializada para além de equipamentos de elevado custo.

Recentemente, com a generalização dos sistemas, as análises tornaram-se praticamente automáticas, reduzindo drasticamente o seu custo.

As principais aplicações das análises de óleo são:

- Controlo de condição do equipamento,
- Controlo de condição do óleo,
- Redução dos “*Stocks*” dos óleos,
- Determinação do intervalo de mudança de óleo mais rentável.

Os resultados das análises permitem uma rápida e precisa medição de grande parte dos elementos presentes no óleo, oriundos essencialmente das partículas de desgaste geradas nos múltiplos órgãos que constituem o equipamento, podendo-se determinar modos específicos de falha em desenvolvimento, constituindo uma ferramenta essencial para a implementação de um sistema de manutenção condicionada num equipamento.

Quanto ao controlo de condição do óleo, os resultados das análises podem ser utilizados para determinar se o óleo cumpre os requisitos de lubrificação exigidos pela máquina.

Com base nos resultados das análises, os lubrificantes poderão ser substituídos ou recuperados de forma a cumprir as suas funções de lubrificação especificadas para a operação. Óleos de lubrificação, hidráulicos e dielétricos são periodicamente analisados para se determinar o seu estado, numa perspetiva de manutenção condicionada, especialmente em instalações de elevado volume de enchimento.

A redução dos “*Stocks*” dos óleos pode ser obtida à custa de uma análise detalhada das propriedades físicas e químicas de diferentes óleos usados no material circulante. Isso permite a redução do número de tipos de lubrificantes necessários e a eliminação de duplicações desnecessárias de tipos de óleo, provocando uma redução dos níveis de “*Stock*” e, conseqüentemente, dos custos de manutenção.

A análise dos óleos de lubrificação pode ser utilizada para determinar o intervalo de mudança de óleo mais rentável, sendo uma ferramenta importante da manutenção sistemática. Em grandes unidades industriais uma redução do número de mudanças de óleo pode significar uma redução substancial dos custos de manutenção.

As amostras e testes relativamente baratos podem indicar quando o óleo de uma máquina alcançou o tempo de ser mudado.

Os laboratórios recomendam a recolha de amostras em intervalos devidamente pré definidos de forma a determinar o estado do filme de lubrificante, que é crítico para o funcionamento dos mecanismos.

4.3. Níveis de Manutenção

A EMEF como empresa regente da manutenção de todo o material circulante, tem em seu poder a capacidade de programar a manutenção que acha mais adequada, tendo sempre em conta a aprovação do cliente. Esta empresa é dividida em vários centros de custos, cabendo a cada um reparar determinados componentes. A cada intervenção, corresponde assim, uma instrução de trabalho que é seguida meticulosamente por todos os colaboradores.

Para além dos diferentes tipos de manutenção (preventiva sistemática, preventiva condicionada e corretiva) podem considerar-se diferentes níveis de intervenção. Estes níveis são definidos a partir da complexidade dos trabalhos a executar e do correspondente nível técnico do executante ou equipa técnica que o virá a executar.

A Norma AFNOR [7] define 5 níveis de manutenção caracterizados da seguinte forma:

1º Nível – Natureza do Trabalho – Afições simples previstas pelo construtor sem desmontagem do equipamento ou substituição de elementos acessíveis com toda a segurança.

Executante – Operador da máquina.

2º Nível – Natureza do Trabalho – Reparações através de substituição de elementos “*standard*” previstos para este efeito ou operações menores de manutenção preventiva (rondas).

Executante – Técnico habilitado. Em algumas situações, o operador.

3º Nível – Natureza do trabalho – Identificação e diagnóstico de avarias, reparação por substituição de componentes funcionais, reparações mecânicas menores.

Executante – Técnico especializado no local ou equipa de manutenção.

4º Nível – Natureza do trabalho – Trabalhos importantes de manutenção corretiva ou preventiva.

Executante – Equipa de manutenção.

5º Nível – Natureza do trabalho – trabalhos de renovação, de construção ou reparações importantes numa oficina central ou por subcontratação.

Executante – Equipa completa de manutenção polivalente.

A definição de níveis de manutenção nomeadamente no que se refere ao executante poderá ter definições que poderão variar devido à introdução de novas filosofias de manutenção.

Cada operação ou conjunto de operações preventivas para um dado equipamento, no sistema de intervenção proposto, incluir-se-á necessariamente num destes níveis. O mesmo se passará em relação à manutenção corretiva que venha a ter lugar durante a laboração normal.

De uma maneira resumida, na EMEF, a manutenção (preventiva sistemática/condicionada) é dividida em dois grandes grupos:

➤ **Pequena Reparação**

- ✓ **(V5 e VD) Visita de 1º Nível AFNOR** caracterizada por intervenções que têm um plano básico, verificações e ensaios, substituição de consumíveis – cecos, lâmpadas, etc.
- ✓ **(V4) Visita de 2º Nível AFNOR** caracterizada por verificações mais especializadas e substituição de lubrificantes, etc.
- ✓ **(V3) Visita de 3º Nível AFNOR**, destinam-se a efetuar o controlo de órgãos, sopragens, afinações e substituição de lubrificantes, etc.
- ✓ **(V2) Visita de 4º Nível AFNOR**, têm por base a operação de substituição de alguns órgãos, etc.

São ainda efetuadas nos Grupos Oficiais visitas periódicas de Manutenção, caracterizadas por intervenções profundas:

- ✓ **(V1) Visita 5º Nível AFNOR**, envolvem a substituição de um elevado número de órgãos, com reposição do potencial de vida.

➤ **Grande Reparação**

Estes tipos de manutenção envolvem a substituição de um elevado número ou mesmo todos os órgãos constituintes de uma unidade sendo que estas estão inseridas no 5º nível AFNOR, a complexidade da operação aumenta com a diminuição do número da operação.

- ✓ Reparação 3 (R3),
- ✓ Reparação 2 (R2),
- ✓ Reparação 1 (R1).

Esta manutenção, mesmo centrada na fiabilidade, tem também a manutenção corretiva que se pode dividir em:

- ✓ Visita por Avaria (VAV),
- ✓ Visita por pequenos Acidentes (VAC),
- ✓ Reparação por grandes Acidentes (RAC),
- ✓ Vandalismo (VAN).

4.4. Objetos de Manutenção

A organização, codificação e nomenclatura do parque de máquinas ou de objetos de manutenção é um domínio muito importante para o bom funcionamento de qualquer sistema de gestão de manutenção.

Hoje em dia, toda a gestão da manutenção assenta sobre um sistema informático, tendo em conta os princípios de organização do parque.

Atualmente está bem consolidada a prática de codificação, englobando três aspetos fundamentais:

- ✓ Funcionalidade, que determina a função do objeto na instalação. Pode designar-se, também, por localização funcional.

- ✓ Individualidade, que identifica univocamente o objeto. O objeto adquire uma única identidade que o acompanha durante toda a vida funcional, permitindo acumular o seu histórico (independentemente de poder vir a mudar a sua posição funcional). Deverá ter um código com um formato do tipo VPN 560023, que os anglo-saxónicos designam por “*tag number*”, em que VPN exprime o tipo de equipamento, neste caso é uma válvula relé do tipo RH5, os dois primeiros números (56) indicam o tipo da válvula e os restantes números indicam o número do componente.
- ✓ Centro de Custo que determina o seu posicionamento em relação ao valor geral da empresa dependendo esta definição da área financeira. No entanto, convém dotar a área técnica de independência em relação à área financeira para que nenhuma delas fique a perder em termos de informação.

4.5. Centro de Custos

O centro de custo serve para distribuir os custos da manutenção por componentes individualizadas que a gestão determinou ser vantajoso para efeitos de quantificação geral de custos e análises de desempenho.

A filosofia de criação dos centros de custo varia de empresa para empresa e é influenciada pela forma como era possível, com os sistemas tradicionais de gestão da manutenção, apurar os respetivos custos de forma a poder imputá-los, coerentemente, aos correspondentes custos da produção e, assim, poder responder a questões do tipo: qual o custo total para reparar o artigo “A”?

Assim, em alguns casos, os centros de custo referem-se a um equipamento ou conjunto particulares; noutros, a uma linha completa de produção; noutros, ainda, à fábrica como um todo.

O centro de custo deve representar a agregação dos custos de manutenção segundo o critério que for solicitado pela gestão financeira da empresa sem qualquer preocupação de identificação com a estrutura funcional organizativa do parque de objetos de manutenção. Isto é, o “centro de custo” é um apêndice do sistema de gestão de manutenção fundamentalmente destinado a produzir, rapidamente, a informação financeira necessária para a gestão geral da empresa.

4.6. Ordem de Trabalho

Ordem de trabalho é o documento que transmite para a área da intervenção técnica a necessidade de realização do trabalho fornecendo as instruções necessárias para a sua execução.

A ordem de trabalho serve ainda como centro aglutinador para o registo do esforço e dos recursos previstos e despendidos (mão-de-obra, materiais e serviços), e respetivos custos, na realização do trabalho.

A ordem de trabalho deverá ainda ser o suporte para o registo de diagnósticos de condição e sugestão de ações futuras.

A ordem de trabalho mostrada na figura 4 é constituída pelos seguintes blocos de informação:

- ✓ Tipo da ordem,
- ✓ Órgão a intervencionar,
- ✓ Operação,
- ✓ Centro de Trabalho,
- ✓ Data e hora,
- ✓ Lista de material,
- ✓ Duração do trabalho,
- ✓ Pessoas necessárias.



Empresa de Manutenção de
Equipamento Ferroviário, SA



Ordem 20069928 VPN56-RG Válvulas relé RH5 ANO/16		Data Objectivo 08.01.2016	
Tipo Ordem EM02 Intervenção Reparação Rotáveis		Nota	
Operação: 0020 materiais pedidos em 01-02-2016 F250		Data Objectivo: 01.02.2016	
Centro de Trabalho: F250 / F100			
Trabalho: 0,0 H	Pessoas necessárias: 0	Duração: 0,0 Hora	
Especialidade:			
			
Lista de Tarefas			
Lista de materiais			
Deposito:		Reserva: 0000078606	
Material	Denominação	Lote	Quantidade
55203246	Kit de reparação da válvula		4,000
			UN

Sede: Rua D. Afonso Henriques, 238-610 ENTRONCAMENTO - BELLEROPOLIS, 502 907 507 CNEC Intercomunicar - Cas. Soc. R 100 000,00 Norte
 Over Office: Rua dos Indios, 21 - 1705-490 AMACORA - Telefonos: 21 162 77 90 - Fax: 21 357 89 78 - geral@emef.pt - www.emef.pt

Figura 4 - Ordem de trabalho (documento interno EMEF).

4.6.1. Elementos de Gestão de uma Ordem de Trabalho

Para que uma ordem de trabalho fique completa é necessário definir e identificar o objeto a que se destina, a identificação da OT:

Número – de ordem, sequencial, sem qualquer significado sistematizado. É único e não repetível.

Descrição ou título do trabalho – coloquial, exprimindo, na linguagem corrente, “do que se trata”. Deve respeitar-se certa uniformidade.

Data e hora – em que foi elaborada.

Tipo de trabalho – expressão, na linguagem de gestão da Empresa, do tipo de atividade de que se trata, enquadrável num grande tipo de manutenção (corretiva, preventiva sistemática ou condicionada).

Entidade Responsável

Todos os trabalhos da manutenção terão uma entidade responsável pela sua execução, desde o início da intervenção até à reentrega do equipamento para operação. Este facto não impede, porém, que determinado trabalho da responsabilidade, por exemplo, da oficina mecânica, incorpore esforço da oficina elétrica, de fornecedores externos, etc. A entidade responsável poderá ser:

- Interna – oficina mecânica, oficina elétrica, etc.
- Externa – prestador de serviços de manutenção ou empresa contratada.

Previsão da Duração

É igualmente importante especificar a previsão da duração do trabalho. Outro aspeto que tem de estar claro é a diferença entre o *tempo de intervenção* (TI) e o *período de imobilização do equipamento* (PI): o primeiro responde, em linguagem corrente, à questão “quanto tempo foi dedicado a fazer o trabalho” e, o segundo, à questão “durante que período de tempo decorreu”.

Origem da OT

As origens possíveis dos vários tipos de trabalho, definidos anteriormente, são as seguintes:

- OT sistemática – Cumprimento de um ciclo de manutenção sistemática, de acordo com as recomendações do fabricante ou a experiência operacional adquirida ou exigências da Qualidade ou organismos reguladores;
- Calibração – Do mesmo tipo que a OT sistemática;
- Rotinas de inspeção e lubrificação – Do mesmo tipo que a OT sistemática;
- Inspeções de manutenção condicionada – Do mesmo tipo que a OT sistemática;

- Análises de óleos – Do mesmo tipo que a OT sistemática;
- OT preventiva condicional – Indicações resultantes das rotinas de inspeção e lubrificação, registros de outros trabalhos, análises de manutenção condicionada e informação dos operadores;
- OT curativa – Pedidos de trabalhos curativos ou inoperacionalidade declarada do equipamento;
- OT corretiva – Estudos de alterações.

4.7. Representação em Fluxograma dos Circuitos de uma OT

Uma forma simples de representar os circuitos de uma ordem de trabalho é através de fluxogramas. Nestas representações incluem-se dentro de retângulos as fases ativas do circuito, ou seja, as que correspondem a ações de qualquer tipo e incluem-se dentro de losangos as opções que têm de ser tomadas em determinadas etapas do circuito.

Ao lado de cada retângulo deve indicar-se quem é responsável pela execução da respetiva ação.

Devem ser encarados como meros exemplos e deve ter-se em conta que, em todos os casos, podem ser representadas inúmeras situações particulares e específicas de cada uma das fases.

A figura 5 apresenta o fluxograma do circuito de uma ordem de trabalho, representando a situação padrão mais simples de um pedido de manutenção com preparação de trabalho.

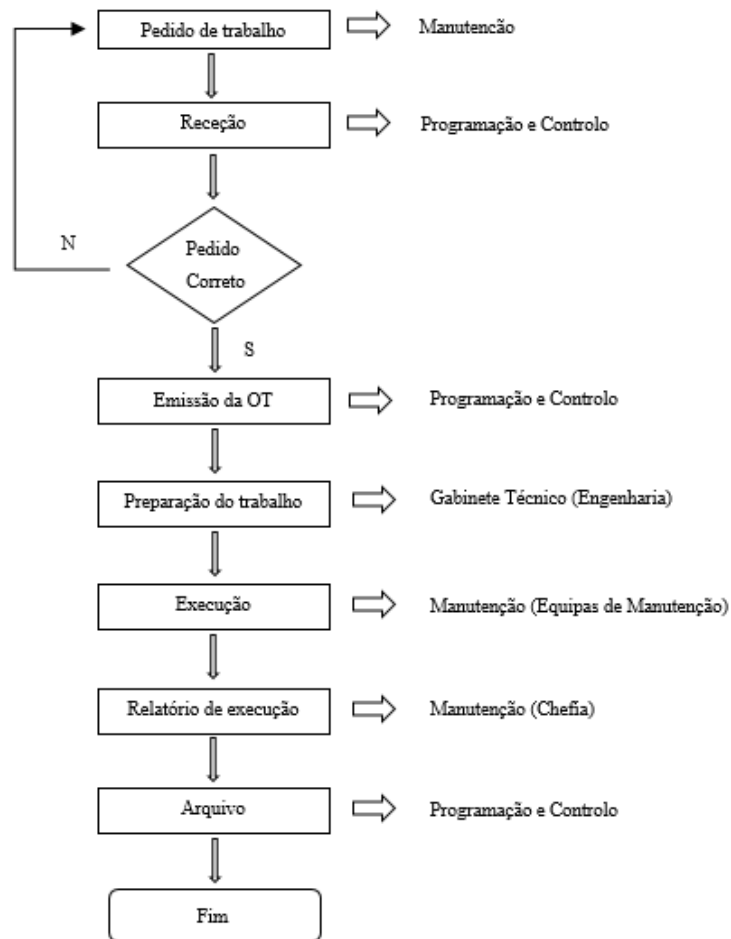


Figura 5 - Fluxograma do circuito de uma OT.

5. RCM

A EMEF aplica os princípios da Manutenção Centralizada na Fiabilidade (Reliability Centered Maintenance, ou RCM). A manutenção é avaliada e aplicada de forma racional proporcionando mais-valias à gestão da manutenção.

O princípio base do processo de Manutenção Centralizada na Fiabilidade é o de analisar sistematicamente o material circulante de modo a compreender:

- ✓ O seu funcionamento e o impacto de possíveis falhas na sua normal operação/condução,
- ✓ Tipos possíveis de avaria e suas causas prováveis,
- ✓ Estratégias de controlo e contenção de falhas,
- ✓ Estratégias de previsão e pré-deteção de avaria.

Um dos conceitos chave da RCM é que as falhas dos equipamentos não são sempre as mesmas, consequentemente, as tarefas de manutenção necessárias para a sua prevenção não seguem uma só estratégia, mas sim um conjunto de diretivas que se ajustam à medida que se avança no processo de manutenção, de modo a efetuar uma gestão efetiva do equipamento, de acordo com as suas condições de instalação e operação.

Neste sentido, se para cada tipo de equipamento dependendo da sua natureza se definem diretivas distintas para os processos de manutenção, para dois equipamentos similares podemos encontrar estratégias de manutenção diferenciadas de acordo com a sua condição e ambiente de operação. Os padrões de falha variam portanto de equipamento para equipamento. É importante o acompanhamento constante da evolução da degradação dos equipamentos, de forma a atempadamente fazer a mobilização dos meios técnicos e humanos mais adequados à intervenção certa no momento mais oportuno.

A RCM é um método utilizado para planeamento de manutenção que foi desenvolvido inicialmente na indústria aeronáutica e, posteriormente, adaptado para diversas outras indústrias e instituições militares.

A RCM tem como objetivo reduzir falhas resultantes de manutenção inadequada, além de possibilitar a identificação prematura de falhas no equipamento introduzidas por erros de manutenção. Nestes casos, as análises de RCM podem recomendar melhorias para atividades específicas da manutenção, tais como melhorar procedimentos, melhorar o desempenho do trabalhador, ou implementação de tarefas de controlo da qualidade.

Das análises de RCM podem surgir recomendações para mudanças no projeto e/ou melhorias operacionais quando a fiabilidade do equipamento/instalação não se encontrar devidamente salvaguardada com a manutenção definida.

5.1. Fiabilidade dos Sistemas

Segundo Dias, J. (2002) [8], o conceito de fiabilidade começou a ser aplicado na década de 50. A aplicação de um programa de fiabilidade tem como objetivo aumentar a *performance* de um bem no domínio do tempo (Ascher, H. e Feingold, H., 1984, p. V) [9], sendo o objetivo principal dos estudos de fiabilidade, a disponibilização da informação necessária à tomada de decisão (Dias, J., 2002) [8].

Um estudo de fiabilidade deve ser iniciado com a clarificação objetiva do problema e dos objetivos que se pretendem alcançar, bem como identificar as limitações do estudo em função da informação disponível, uma vez que a forma como são recolhidos os dados pode condicionar a aplicação estatística a utilizar (Dias, J., 2002) [8]. Ascher, H. e Feingold, H., (1984) [9], afirmam que os modelos probabilísticos e as análises estatísticas por si só não contribuem diretamente para a melhoria da fiabilidade. Tal contribuição só é possível se forem aplicadas mudanças de *design* dos equipamentos, melhoria do controlo de qualidade, entre outros.

A fiabilidade de um sistema composto por um elevado número de componentes ligados em série pode ser baixa, embora a fiabilidade individual dos componentes seja elevada (Dias, J., 2002) [8].

O conceito de fiabilidade está diretamente relacionado com a filosofia de gestão da manutenção preventiva. Esta ligação deve-se ao facto de apenas ser possível manter um nível definido e desejado de fiabilidade de um equipamento se este estiver abrangido por um programa de manutenção preventiva. Caso contrário, se a manutenção efetuada a esse equipamento se restringir à reposição do mesmo para o estado de funcionalidade anterior à falha, após a ocorrência da mesma (Manutenção Corretiva), a sua fiabilidade estará comprometida, apresentando, com o decorrer do tempo, uma tendência para piorar, até chegar ao ponto em que a diferença entre os custos associados à sua reparação e o valor criado por esse equipamento será inaceitável.

Ao atingir este ponto, o equipamento terá chegado ao fim da sua vida útil. Para contrariar esta degradação acelerada do estado do sistema, que culminará no fim precoce do ciclo de vida do equipamento, deverá então, ser aplicado um programa de manutenção preventiva ao mesmo, mantendo o equipamento num estado de conservação estável, garantindo assim um nível de fiabilidade muito superior ao que sucederia sem a adoção desse programa. Um baixo nível de fiabilidade dos equipamentos traduz-se, para as empresas, na incapacidade das mesmas para darem resposta às exigências do mercado, uma vez que estes equipamentos têm uma maior probabilidade de ocorrência de uma falha.

Em suma, se um equipamento for sujeito a um programa de manutenção preventiva, a probabilidade de ocorrência de uma falha diminui drasticamente, aumentando assim a fiabilidade do mesmo.

Com isto, podemos afirmar que a disponibilidade de um equipamento está diretamente relacionada com a sua fiabilidade e, como tal, com a filosofia de gestão da manutenção definida para esse equipamento. Com isto, se assumirmos que os equipamentos de uma unidade industrial são sujeitos a um programa de manutenção preventiva adequado, podemos afirmar que estes oferecem a garantia de um nível de fiabilidade mais elevado, assim como um nível, também elevado, de disponibilidade. A fiabilidade dos equipamentos oferece também benefícios ao nível do planeamento dos *stocks* para manutenção, uma vez que, desta forma torna-se possível prever quando e em que quantidades um determinado item será necessário.

Por outro lado, uma baixa fiabilidade dos equipamentos traduz-se, entre outros, na impossibilidade de construir um plano de gestão dos níveis de inventário a longo prazo de forma satisfatória. Na maioria das vezes, visto que as empresas não podem estar sujeitas à paragem da produção causada pela falta de peças de substituição para os equipamentos, é habitual serem criados elevados níveis de *stocks*, bem como equipas de manutenção constituídas por um elevado número de técnicos, uma vez que a manutenção não tem confiança na gestão dos inventários para a manutenção (Smith, R. e Hawkins, B., 2004, p.37) [10].

5.2. Requisitos de Fiabilidade

A competitividade obriga a que se concebam e produzam equipamentos com níveis de desempenho (*performance*) crescentes. Tal facto, conduz frequentemente à exigência dos equipamentos suportarem maiores cargas e comportarem maior número de funções, aumentando assim a sua complexidade.

A primeira exigência obriga os sistemas a funcionarem perto dos limites de resistência e a segunda implica maior número de componentes. Qualquer das exigências resulta sempre num maior número provável de avarias, a menos que se possam adotar medidas de prevenção apropriadas.

A melhoria do desempenho e da fiabilidade têm assim que ser conciliadas por compromisso, onde obviamente, quanto maior for a fiabilidade desejada, maiores serão os custos de a obter.

5.3. Falha

Considera-se que "falha da função requerida" significa a cessação de funcionamento ou, mais frequentemente, degradação de um parâmetro de funcionamento até um nível considerado insatisfatório.

A falha de um órgão pode acontecer súbita e brutalmente: é a chamada falha "catastrófica", ou lenta e progressivamente: é a chamada falha "por degradação". A falha catastrófica resulta da variação súbita de uma ou mais características de um órgão, inutilizando-o e a sua ocorrência é absolutamente imprevisível. A falha por degradação resulta da variação progressiva de uma ou mais características de um órgão, para além dos seus limites de resistência. Estas falhas poderão, em princípio, ser evitadas através da prática de manutenção preventiva.

5.3.1. Estatística das Falhas

A fiabilidade constitui um método de análise estatística frequentemente aplicado em estudos de mortalidade de sistemas industriais. Este baseia-se no estudo das ocorrências, e respetivos tempos de ocorrência de falhas dos equipamentos industriais (Dias, J., 2002) [8].

No estudo dos dados dos tempos de falha é necessário ter em conta dois aspetos, de difícil manipulação através dos métodos convencionais: dados censurados e variáveis dependentes do tempo. Para que seja possível a manipulação dos dados censurados e das variáveis dependentes do tempo, irá proceder-se à análise dos tempos desde a última falha, o que permite dividir a informação em dados censurados e dados não censurados. Esta divisão permitirá então a obtenção de estimadores consistentes dos parâmetros (Dias, J., 2002) [8].

5.4. Sistemas Reparáveis

Grande parte dos sistemas existentes pode ser categorizada em dois tipos distintos: Sistemas Não Reparáveis (ou sistemas de uma única utilização), e Sistemas Reparáveis (ou renováveis).

Segundo Dias, J. (2002) [8], grande parte dos equipamentos utilizados na indústria corresponde, no que respeita à fiabilidade, a sistemas reparáveis. Ascher, H. e Feingold, H. (1984) [9] afirmam que no caso dos sistemas reparáveis, o número de falhas de um dado sistema tem tendência a seguir um Processo de Poisson para o qual podem ser feitas

inferências estatísticas e que este pode ser homogêneo ou não homogêneo. Um Sistema Reparável corresponde a um grupo de elementos que funcionam em conjunto, e cuja falha de um ou mais destes elementos não implicam o fim do ciclo de vida do sistema global.

Este tipo de sistemas é caracterizado pela capacidade que possuem de, após a ocorrência de cada falha, serem reparados e retomarem a capacidade para desempenhar plenamente as suas funções. A ocorrência de uma falha num dos elementos destes sistemas não implica, portanto, o fim do ciclo de vida do conjunto. Ascher, H. e Feingold, H. (1984) [9] definem o Sistema Reparável como um sistema cujo estado de operacionalidade, após cada falha, possa ser reparado e volte a desempenhar de forma satisfatória as suas funções. Os Sistemas Reparáveis podem, no entanto, ser sujeitos a ações de manutenção adicionais que podem influenciar os intervalos de tempo entre falhas, sendo dessa forma possível atingir níveis de desempenho mais elevados. Deste modo torna-se então fundamental, ao iniciar qualquer estudo, analisar a tendência e a independência dos dados recolhidos.

Segundo Wang, P e Coit, D. W. (2004) [11], se um sistema puder ser reparado para um estado “bom como novo”, após a ocorrência de cada falha, então o processo de falha é denominado de processo renovável. Os intervalos de tempo entre falhas dos processos renováveis são independentes e identicamente distribuídos. Um caso especial desta situação é o Processo de Poisson Homogêneo, que apresenta tempos entre falhas independentes e exponenciais.

Contrariamente aos sistemas reparáveis, um sistema não reparável (SNR) é caracterizado como o tipo de equipamentos cujo ciclo de vida termina no momento da ocorrência da primeira falha. Segundo Marques, S. G. (2009) [12], embora não possa ser considerado como regra, o conceito de sistema reparável está habitualmente associado a equipamentos e o de sistema não reparável aos componentes e órgãos desses equipamentos.

Quando se estudam sistemas reparáveis é muito importante analisar os dados dos tempos entre falhas desses sistemas, a fim de verificar se estes apresentam algum tipo de tendência (O'Connor, P. D. T., 1994) [13]. A aplicação do teste de Laplace aos dados recolhidos permite identificar a homogeneidade do seu comportamento, ou se estes apresentam algum tipo de tendência.

Esta tendência, caso exista, pode ser crescente ou decrescente. A aplicação deste teste é habitualmente considerada como suficiente para analisar o comportamento dos dados dos tempos de falha.

A análise da tendência dos dados dos tempos de falhas pode ser efetuada com base nos *tempos entre falhas*. É importante, antes de mais, distinguir os dados dos tempos “de” falhas, dos dados dos tempos “entre” falhas.

Correspondendo x_1, x_2, \dots, x_n aos valores dos tempos de falha desde o início da observação ($x=0$) e sendo X_1, X_2, \dots, X_n os valores dos tempos entre falhas sucessivas ($1, 2, \dots, n$), representam-se de seguida os mesmos, graficamente, a fim de se compreender melhor a diferença entre ambos. A figura 6 apresenta um exemplo de tempos das falhas.

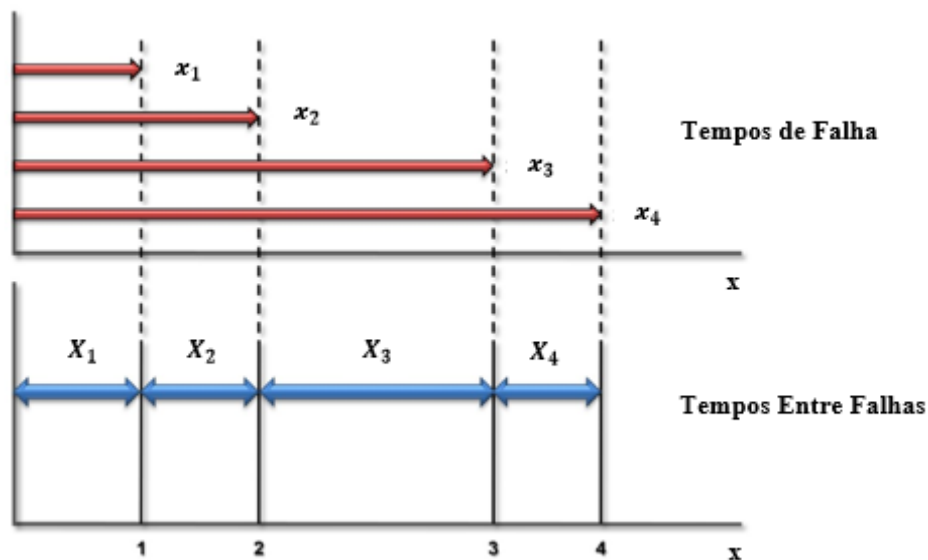


Figura 6 - Exemplo de tempos "De" e "Entre" Falhas.

5.5. Indicadores de Desempenho

A implementação de um programa de manutenção preventiva permite garantir a fiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos. Só é possível dar a verdadeira importância à manutenção, monitorizando indicadores de desempenho dos equipamentos e do processo de manutenção. Para ser possível gerir algo, é necessário conseguir medir todos os indicadores. Assim, só definindo indicadores, é possível quantificar os resultados obtidos e analisar áreas onde é possível implementar melhorias.

A combinação de várias métricas resulta em indicadores de desempenho, muitas vezes referidos como KPI's (*Key Performance Indicators*). Estes permitem efetuar uma avaliação da evolução das metodologias aplicadas.

Relativamente à condição dos equipamentos de uma unidade industrial, a definição de indicadores de desempenho permite compreender a evolução do sistema através da análise do comportamento das falhas, dos níveis de disponibilidade dos equipamentos, do tempo despendido em ações corretivas, entre outros (Smith, R. and Hawkins, B., 2004, p.38) [10].

A discussão, a definição e a refinação dos indicadores de desempenho para a eficácia da manutenção são levadas a cabo desde o aparecimento da manutenção preventiva. (Smith, R. and Hawkins, B., 2004, p.39) [10]. Relativamente à manutenção industrial podem ser consideradas duas categorias de indicadores:

- ✓ Indicadores de estado dos equipamentos - são indicadores relacionados com o próprio equipamento e com as suas condições;
- ✓ Indicadores do processo de manutenção - são relativos à gestão dos processos e das pessoas envolvidas na manutenção;

Enquanto os primeiros avaliam os equipamentos, a estratégia e o plano de manutenção, os segundos avaliam os processos, a execução e as pessoas. Os indicadores de desempenho podem ser utilizados, por exemplo, na monitorização do custo, fiabilidade, *downtime*, execução da manutenção ou melhoria do processo de manutenção.

Os indicadores podem ser uma “faca de dois gumes” pois se por um lado ajudam as organizações a focarem-se nos resultados, poderão levar a decisões erradas caso não definam corretamente os resultados que são pretendidos. Segundo Smith, R. e Hawkins, B. (2004) [10] é muito importante, antes de mais, definir claramente os objetivos da empresa, no que diz respeito à gestão da manutenção, assim como definir os indicadores de desempenho mais adequados à monitorização desses mesmos objetivos. Os indicadores de desempenho devem ser definidos de uma forma hierárquica e interligada, permitindo assim à gestão da manutenção identificar a raiz das falhas do sistema.

Os custos de manutenção representam, normalmente, uma fração importante dos custos operacionais. Por essa razão, estes representam potenciais melhorias a curto-prazo. Atrasos, produtos rejeitados, tempo de paragem para manutenção planeada, custos de mão-de-obra, horas extra e peças e substituição, são fatores que geralmente contribuem para os custos de manutenção (Mobley, R. K., 2004, p.1) [14].

5.6. Técnicas de Gestão de Manutenção

Estabelecido o conjunto de informações que devem ser obtidas visando a montagem dos arquivos de dados de manutenção, são projetados os relatórios de gestão para acompanhamento, avaliação e tomada de decisões. Esses relatórios serão compostos por dados de fontes externas à manutenção (operação, material e administração de pessoal), e internas (planeamento e controle, estudos ou engenharia de manutenção e execução) e que após tratadas, deverão gerar relatórios concisos e específicos para tomada de decisões visando a Fiabilidade Operacional (Gestão de Equipamentos), Redução de Custos (Gestão Financeira) e Otimização dos Serviços (Gestão de Mão-de-obra).

Boa parte dos relatórios de gestão baseiam-se em análise de índices podendo ser identificados mais de 40, utilizados pela área de manutenção, entre os quais seis se destacam por serem conhecidos como “índices classe mundial”.

Chamam-se “índices classe mundial” aqueles que são utilizados segundo a mesma expressão em todos os países. Dos seis “índices classe mundial”, quatro referem-se à análise da gestão de equipamentos e dois referem-se à gestão de custos, de acordo com as seguintes relações:

- ✓ MTBF – Mean Time Between Failures - Tempo Médio Entre Falhas;
- ✓ MTTR – Mean Time To Repair - Tempo Médio Para Reparação;
- ✓ Disponibilidade de Equipamentos;
- ✓ Custo de Manutenção;
- ✓ Custo de Manutenção pelo Valor de Reposição.

6. Indicadores de Desempenho da Gestão da Manutenção

Antes de iniciar uma análise a um sistema, é importante ter em conta a diferença entre dois conceitos subjacentes a esta, nomeadamente a diferença entre Falha e Avaria. Neste sentido, uma Avaria pode ser entendida como um evento onde um bem deixa de

realizar a função requerida, ao contrário da Falha que representa um estado do próprio bem, resultante da falha.

Com o intuito de alcançar uma implantação das políticas de manutenção bem-sucedida, é frequente recorrer a indicadores de desempenho como ferramenta de análise e compreensão da cadência das falhas, assim como tempos de reparação e respetiva disponibilidade dos equipamentos.

Os indicadores de desempenho mais usualmente utilizados são, o MTBF, MTTF, MTTR e Disponibilidade do equipamento.

6.1. MTBF

Designa-se por TBF – *Time Between Failures* (Tempo de Bom Funcionamento), o intervalo de tempo que decorre entre duas avarias consecutivas num determinado equipamento, e por MTBF – *Mean Time Between Failures* (Tempo Médio de Bom Funcionamento), o valor médio dos TBF – Tempos de Bom Funcionamento, para o equipamento em causa [15].

O MTBF é um parâmetro muito importante ao nível da Fiabilidade, pois representa a “esperança matemática” das avarias, ou seja, o tempo provável ao fim do qual o equipamento, se utilizado nas condições nominais, avaria.

$$MTBF = \hat{\theta} = \frac{T}{n_f} \quad (1)$$

n_f – Número de avarias verificadas no período

T - Período total da duração do ensaio

Repare-se que a noção de tempo (T) poderá ser substituída por outro tipo de unidade de contagem (horas, quilómetros, etc.).

De forma a quantificar o MTBF mínimo (θ), ou seja, o tempo médio mínimo entre falhas para o qual a taxa de falhas é máxima, recorre-se a um determinado nível de significância α à seguinte expressão:

$$\theta_i = \frac{2 T}{X_{\alpha, 2(n_f+1)}^2} \quad (2)$$

6.2. MTTF

Por sua vez, o Tempo Médio Para Falhar MTTF (*Mean Time To Fail*), fornece um resultado igual ao MTBF nos casos em que o sistema apresenta uma taxa de falhas constante. Desta forma, este indicador é definido como o inverso da taxa de falhas (λ), parâmetro este representativo da distribuição Exponencial negativa.

$$MTTF = \hat{\theta} = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

6.3. MTTR

O Tempo Médio de Reparação TTR (*Time to Repair*) apresenta-se como o intervalo de tempo entre a detecção de uma avaria e o momento em que após reparado retoma o bom funcionamento [16].

No conceito de TTR - Tempo Total de Reparação, incluem-se os seguintes tempos:

- ✓ Tempo de espera;
- ✓ Tempo gasto na detecção da avaria;
- ✓ Tempo de diagnóstico da avaria;
- ✓ Tempo de acesso ao órgão avariado;
- ✓ Tempo de espera do fornecimento da peça;
- ✓ Tempo de substituição / ou reparação;
- ✓ Tempo de montagem;
- ✓ Tempo de controlo e arranque do equipamento.

O MTTR é um parâmetro muito importante ao nível da Manutibilidade, pois representa a “esperança matemática” do tempo de reparação de uma dada avaria ou seja o tempo provável ao fim do qual essa avaria estará reparada.

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{n_f} \quad (4)$$

6.4. Disponibilidade

A partir dos dois parâmetros (MTBF; MTTR) anteriormente definidos, poderemos introduzir outro conceito vital para qualquer sistema produtivo, a Disponibilidade.

Define-se Disponibilidade de um equipamento como a probabilidade que um equipamento tem de assegurar a função para que foi produzido, num dado instante [17].

A Disponibilidade exprime-se matematicamente por:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (5)$$

A partir da expressão anterior conclui-se que existem duas formas de aumentar a Disponibilidade dos equipamentos, uma será pelo aumento do MTBF, outra será pela diminuição do MTTR.

Pode-se atuar na diminuição do MTTR através da eliminação de algumas das parcelas que compõe o TTR como desde logo se torna evidente o caso dos tempos de espera por indisponibilidade de técnicos, equipamentos e ferramentas; o tempo de espera do fornecimento de peças bem como outros tempos improdutivos eventualmente associados aos outros componentes do TTR.

6.5. Fiabilidade

À semelhança do que se verifica nos diversos sectores de transportes, quanto maior o índice de fiabilidade dos sistemas, maiores serão as vantagens que daí advêm. Nestes casos, a fiabilidade representa para o sector ferroviário uma mais-valia pois permite aferir uma maior confiança aos sistemas, com o bónus acrescido de não prejudicar a produtividade das operações, mantendo a pontualidade dos serviços.

6.5.1. Estatística das Falhas

Nas situações em que se pretende efetuar uma análise estatística das falhas de um sistema, a existência de poucos dados disponíveis pode representar uma barreira à obtenção de resultados concretos e fiáveis, especialmente nos estudos de sobrevivência (Assis, 2004) [18].

Nesse sentido, Glade et al. (2001) [19] afirmam que o acesso a registos históricos é bastante útil, na medida em que estes proporcionam uma larga visão da ocorrência temporal e espacial dos eventos. Apesar da utilidade que os registos históricos demonstram, a presença de informação censurada necessita de uma especial atenção aquando da modelação dos dados para estudos de sobrevivência. A forma como a fiabilidade é definida representa um outro tópico de abordagem, apresentando-se igualmente uma estatística não paramétrica que permite um cálculo da sua estimativa. Por sua vez, é descrita a distribuição estatística de Weibull, onde se apresentam vantagens da

sua utilização face a outras distribuições de probabilidade. Com o intuito de identificar o padrão de falhas de um sistema, neste capítulo também se descreve o teste de *Laplace*.

6.5.2. Análise de Sobrevivência

De acordo com Allison (2010) [20], a análise de sobrevivência é uma categoria de métodos estatísticos destinada ao estudo das ocorrências e respectivos tempos dos eventos. O conceito de evento pode ser entendido como uma alteração qualitativa situada no tempo, isto é, uma transição de um estado discreto para outro (ocorrência de falha num equipamento, por exemplo). Apresentando uma grande potencialidade de aplicação, este método demonstra ter utilidade nas mais diversas áreas, como se trata a título de exemplo da Engenharia e das Ciências Naturais e Sociais.

Deste modo, a sua denotação varia, sendo que no caso específico da Engenharia assume a designação de análise de fiabilidade. Tendo em conta que os dados dos tempos de falha contêm duas características intrínsecas difíceis de manipular com os métodos convencionais, nomeadamente os dados censurados e as covariáveis dependentes do tempo, pretende-se com a análise de fiabilidade calcular uma estimativa consistente dos parâmetros. Para isso é necessário dividir a informação em dados censurados e não censurados, de forma a tornar possível a aplicação do método da máxima verosimilhança, por exemplo, que possibilita a obtenção dos referidos estimadores.

Informação Censurada

De acordo com (Klein & Moeschberger, 2003) [21], sendo a informação censurada uma característica presente na maioria dos dados de tempo até à última falha, a censura surge quando o tempo exato em que a falha ocorre não é conhecido. Existindo diversas classificações de censura na literatura, Allison (2010) [20] considera que a distinção mais básica é entre a censura à esquerda e a censura à direita.

De acordo com Ryan (2007) [22], um dado é considerado **censurado à direita** quando um bem é removido do estudo enquanto ainda se encontra em funcionamento, permanecendo desconhecido o instante de tempo em que voltará a falhar. Segundo o autor, sempre que este tipo de censura denominada **Tipo I**, seja utilizada, deve assumir-se que os bens retirados do estudo são tão representativos quanto os restantes. Na prática industrial, este tipo de censura é o mais comum visto ser difícil, em termos operacionais e financeiros, controlar o processo até à última falha (Allison, 2010) [20].

Relativamente aos dados **censurados à esquerda**, Ryan (2007) [22] caracteriza este tipo de censura, denominada **Tipo II**, quando já ocorreram falhas antes do início do estudo num ou mais bens.

Na Figura 7 encontram-se representados ambos os tipos de informação censurada para um período de ensaio T ($\tau_A - \tau_0$). Considerando o sistema com quatro falhas, representadas por triângulos, verifica-se que t_1 ($\tau_1 - \tau_0$) corresponde a um dado censurado à esquerda uma vez que a falha ocorreu antes do início do estudo. De forma simétrica, verifica-se que t_3 ($\tau_A - \tau_2$) corresponde a um dado censurado à direita pelo facto da falha 4 ter ocorrido após o término do estudo (Dias, 2002) [23]. Além de ambos os tipos de censura, encontra-se ainda representado o intervalo censurado, dado por t , que demonstra o intervalo de tempo para o qual o bem se encontra em funcionamento no instante inicial e em falha no instante final (falha 3).

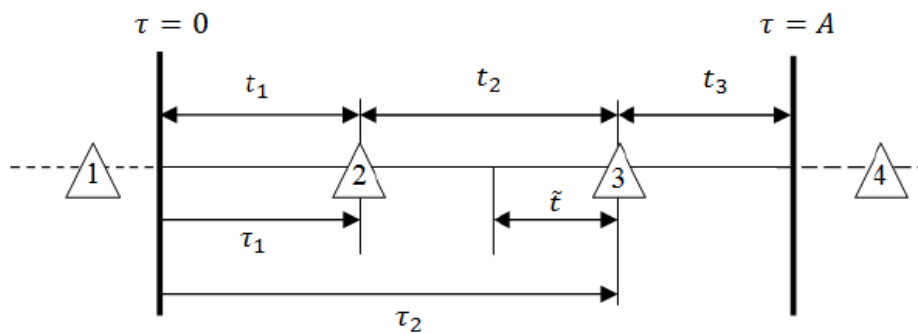


Figura 7 – Informação censurada [23].

6.5.3. Distribuição de Weibull

Segundo Feldman & Valdez-Flores (2010) [24], a distribuição de *Weibull* surgiu em 1939 pelas “mãos” do engenheiro sueco *Waloddi Weibull* resultante da necessidade de descrever a resistência de diversos materiais à rutura. Desde então, muitos estatísticos têm vindo a demonstrar a utilidade desta distribuição no que respeita a descrever o tempo t até à falha em diversos tipos de sistemas. Dodson (2006) [25] apresenta como exemplos os sistemas eletrónicos e os pneus dos automóveis. Saleh & Castet (2011) [26] consideram inclusive que esta distribuição é bastante flexível no que respeita à possibilidade de modelar diferentes tipos de comportamento de falhas, nomeadamente taxas de falha crescentes, decrescentes ou constantes.

De acordo com Dodson (2006) [25], a distribuição de *Weibull* é caracterizada por três parâmetros, nomeadamente pelo **parâmetro de escala** (α) – também conhecido por vida característica, pelo **parâmetro de forma** (β), e pelo **parâmetro de localização** (δ) – também conhecido por vida mínima segundo O'Connor (1991) [27]. Contudo, apenas são utilizados tradicionalmente os dois primeiros para a modelação dos tempos de falha, assumindo-se que o último é zero, pois aquando do início do estudo ($t = 0$), o sistema já experimentou uma falha (O'Connor, 1991) [27].

Nesse sentido, e de acordo com Ryan (2007) [22], a F.d.p. é dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} x \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} x \left(e^{\left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta}} \right) \quad (6)$$

Em termos de função de fiabilidade, esta traduz-se na seguinte expressão:

$$R(t) = e^{\left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta}} \quad (7)$$

Por recurso à Equação 6, obtém-se a função de risco, dada por:

$$h(t) = \frac{\beta}{\alpha} x \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \quad (8)$$

Observando a expressão anterior, verifica-se que $h(t)$ é influenciada pelo valor que o parâmetro de forma assuma. Assim, na Figura 8 encontra-se representado a evolução da F.d.p. da distribuição de Weibull para diversos valores do parâmetro. Facilmente se verifica que nos casos em que $0 < \beta < 1$, $h(t)$ diminui e a F.d.p. da distribuição de *Weibull* aproxima-se da distribuição Gama. Por outro lado, nos casos em que $\beta = 1$, a F.d.p. é equivalente à distribuição Exponencial Negativa.

Por sua vez, para valores de $\beta > 1$, onde se verifica um aumento de $h(t)$, a F.d.p. tende para a distribuição Normal (correspondendo exatamente quando $\beta = 3,6$), (Dodson, 2006) [25].

Relativamente aos intervalos de confiança, estes podem ser determinados através de dois métodos distintos, nomeadamente pelo método da máxima verosimilhança, do inglês *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), ou pelo método de estimativa gráfica (Dodson, 2006) [25].

De acordo com Saleh & Castet (2011 [26]), que apresenta uma descrição pormenorizada da modelação matemática de ambos os métodos, existem vantagens e desvantagens em adotar um ou outro método tanto para a determinação dos intervalos de confiança como para a estimativa dos parâmetros α e β .

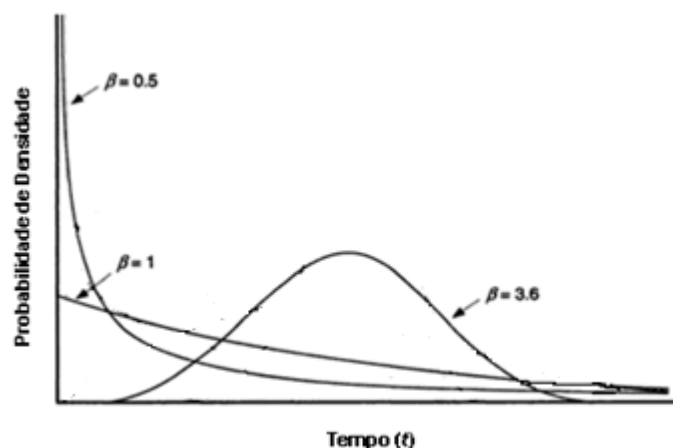


Figura 8 – Distribuição de Weibull para diversos valores de β [25].

Assim, a utilização do método por estimativa gráfica permite obter, através de uma simples regressão dos dados, uma estimativa para ambos os parâmetros visualizando-se de imediato os resultados aferidos. Em contrapartida, e comparativamente ao MLE, este método apresenta a desvantagem de não ser muito preciso nas estimativas encontradas, resultado da incorreta atribuição de pesos às falhas (as primeiras – mais antigas, têm maior peso que as últimas – mais recentes) aquando das sucessivas transformações logarítmicas. Através do método MLE, que o autor define como sendo a probabilidade de gerar dados de uma determinada distribuição paramétrica escolhida, a partir de uma amostra de dados observados, assumindo que α segue uma distribuição paramétrica de parâmetros desconhecidos, esta questão é resolvida.

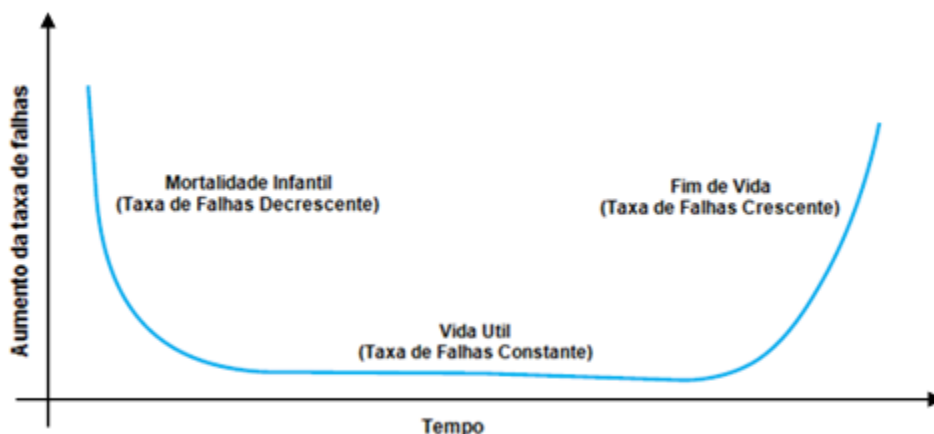


Figura 9 – Curva da banheira [22].

Sistemas com Taxa de Falhas Decrescente (Modelo de Crow)

Sendo este tipo de taxa de falhas representativo do período de infância dos sistemas, assiste-se a uma elevada incidência de falhas pelo facto dos mesmos estarem a ser utilizados pela primeira vez, podendo mesmo verificar-se em alguns casos a existência de defeitos de fabrico (Ryan, 2007) [22]. Segundo O'Connor (1991) [27], esta elevada incidência de falhas pode igualmente ser resultante dos sistemas serem sujeitos a ensaios de funcionamento sob condições de stress, antes de serem entregues ao cliente. As peças que falham são rejeitadas, tornando-se a população sobrevivente mais fiável, esperando-se deste modo que as falhas tendam a diminuir com o passar do tempo. No caso específico dos equipamentos eletrónicos, este fenómeno é conhecido como *Burn-in*. Desta forma, as taxas de falha decrescentes observam-se em equipamentos que se tornam menos suscetíveis de falhar com o aumento do tempo da sua sobrevivência.

De acordo com Dias (2002) [23], os sistemas com tendência para uma taxa de falhas decrescente podem ser analisados pelo Modelo de “Fiabilidade Crescente”, conhecido igualmente por Modelo de Crow. Através do modelo de Crow é possível determinar uma estimativa da taxa de falhas, assim como uma estimativa do MTBF para as falhas mais recentes, para um determinado intervalo de confiança. Sendo a taxa de falhas representada por $\rho(t)$, esta é calculada através da seguinte expressão:

$$\rho(t) = \hat{\lambda} x \hat{\beta} \times \tau^{\hat{\beta}-1} \quad (9)$$

Onde λ e β representam as constantes do modelo e t o tempo total de duração do teste. Neste caso, é necessário ter atenção para não confundir com o λ e β do modelo de *Crow* com a taxa de falhas λ da distribuição exponencial negativa e o parâmetro de forma β da distribuição de *Weibull*.

Sendo as estimativas das constantes obtidas através da função de máxima verosimilhança, o cálculo destas depende do tipo de teste que se efetue. No caso de o teste ser limitado pelo tempo, as estimativas são dadas por:

$$\hat{\beta} = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln\left(\frac{T_0}{\tau_i}\right)} \quad (10)$$

$$\hat{\lambda} = \frac{n_f}{T_0^{\hat{\beta}}} \quad (11)$$

Onde τ_i corresponde ao tempo de vida da falha no instante i e n_f ao número total de falhas registadas durante o período de teste T_0 considerado. No caso de o teste ser limitado pelo número de falhas, as constantes apresentam uma estimativa determinada por:

$$\hat{\beta} = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f-1} \ln\left(\frac{T_{n_f}}{\tau_i}\right)} \quad (12)$$

$$\hat{\lambda} = \frac{n_f}{T_{n_f}^{\hat{\beta}}} \quad (13)$$

Onde T_{n_f} corresponde ao tempo total do ensaio, terminando no instante exato de ocorrência da última falha.

A estimativa do MTBF é portanto dada através da seguinte expressão:

$$\hat{\theta}(t) = \frac{1}{\rho(t)} \quad (14)$$

Associado ao valor de MTBF estimado existe um intervalo de confiança calculado através das seguintes expressões:

$$\hat{\theta}_i(t) = \hat{\theta}(t) \times \pi_1 \quad (15)$$

$$\hat{\theta}_s(t) = \hat{\theta}(t) \times \pi_2 \quad (16)$$

Correspondendo respetivamente as Equações 15 e 16 ao Limite Inferior e Superior do intervalo em que o teste é limitado pelo tempo. Os valores das constantes π_1 e π_2 obtêm-se diretamente da Tabela do modelo, presente no Anexo B. No caso de o teste ser limitado pelo número de falhas, as Equações 15 e 16 são exatamente iguais diferindo apenas as constantes que serão representadas por ρ_1 e ρ_2 .

Sistemas com Taxa de Falhas Constante

De acordo com Ryan (2007) [22], a taxa de falhas constante surge após a taxa anteriormente descrita, verificando-se uma diminuição do índice de falhas para um nível inferior que manter-se-á constante por um longo período de tempo, conhecido por vida útil do sistema. Segundo O'Connor (1991) [27], este tipo de taxa de falhas é característico de sistemas complexos sujeitos a reparações e revisões gerais, onde os seus diversos componentes apresentam diferentes padrões de falha ao longo do tempo resultante do facto destes apresentarem diferentes idades devido às reparações ou substituições. As taxas de falha constantes são ainda indicativas de falhas induzidas nos sistemas por causas externas. Em termos de indicadores de desempenho, a fiabilidade dos Sistemas Reparáveis (SR) é quantificada para este tipo de falhas através do MTBF e MTBF mínimo garantido, recorrendo-se por sua vez ao indicador MTTF para caracterizar os Sistemas não reparáveis) SNR.

Sistemas com Taxa de Falhas Crescente

Segundo O'Connor (1991) [27], verifica-se uma taxa de falhas crescente quando se assiste a uma predominância de falhas por desgaste dos sistemas, sendo essa taxa mais significativa à medida que se aproxima o fim de vida dos mesmos. À semelhança das taxas de falha decrescentes, estas obedecem igualmente a um PPNH pelas mesmas razões apresentadas, assistindo-se neste caso a uma fiabilidade decrescente nos sistemas.

Processos Estocásticos Pontuais – Processos de *Poisson*

Sendo os processos estocásticos processos que ocorrem de forma aleatória ao longo do tempo, estes podem ser do tipo contínuo ou discreto. Dentro dos processos discretos, destacam-se os pontuais no que respeita ao estudo da fiabilidade, visto possibilitarem uma descrição das séries de acontecimentos que ocorrem aleatoriamente no tempo (Gupta et al., 2010) [28].

De acordo com Dias (2002) [23], existem diversos modelos estocásticos pontuais de entre os quais se destacam os Processos de *Poisson* Homogéneos e Não Homogéneos, visto serem estes os que apresentam interesse para o presente estudo.

Processo de *Poisson* Homogéneo (PPH)

Sendo os PPH caracterizados por uma sequência infinita de variáveis aleatórias positivas, exponencialmente distribuídas e independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.), estes correspondem a todos os processos de *Poisson* para os quais a taxa de falhas é constante. Assim, de acordo com Ascher & Feingold (1984) [29], um processo estocástico pontual $\{N(t), t \geq 0\}$ é um PPH nas condições de:

- ✓ $N(0) = 0$;
- ✓ $\{N(t), t \geq 0\}$ é aumentado de forma independente;
- ✓ O número de falhas em qualquer intervalo de tempo Δt segue uma distribuição de Poisson com um valor médio, $m = \lambda_0 \times \Delta t$.

Deste modo, a probabilidade de ocorrência de n_f falhas num intervalo de tempo Δt é dada pela seguinte expressão:

$$P\{N(\Delta t) = n_f\} = \frac{e^{-m} \times m^{n_f}}{n_f!} \quad (17)$$

Representando λ_0 a taxa de falhas, a fiabilidade de um sistema que falhe segundo um PPH, isto é, com uma função densidade de probabilidade Exponencial Negativa, obtém-se da seguinte forma:

$$R(\Delta t) = e^{-\lambda \times \Delta t} \quad (18)$$

Processo de *Poisson* Não Homogêneo (PPNH)

Ao contrário dos PPH, os PPNH são caracterizados por taxas de falhas que apresentem tendência nos seus dados, isto é, uma relação de dependência com o tempo. Deste modo, essa tendência pode traduzir-se num aumento da incidência de falhas, comprovando-se a presença de uma taxa de falhas crescente, ou em situação oposta a uma redução dessa mesma incidência assistindo-se à presença de uma taxa de falhas decrescente.

Uma vez conhecidos os tipos de taxa de falhas e respectivos processos estocásticos, importa agora conhecer um teste que permita identificar qual destes é o que melhor caracteriza uma amostra de tempos de falha. Nesse sentido, Ansell & Phillips (1994) [30] apresentam dois testes vulgarmente utilizados, o teste de *Laplace* – desenvolvido por Cox e Lewis em 1966 e o teste Military Handbook (MIL-HDBK-189) desenvolvido em 1981.

6.5.4. Teste de Laplace

De acordo com Assis (2004) [18], o teste de *Laplace* é um teste estatístico não paramétrico, que permite identificar se os tempos de falha de uma amostra são independentes ou não entre si, ou seja, se apresentam tendência (crescente ou decrescente) ao longo do tempo. Assim, assume-se à partida a hipótese nula (H_0), considerada verdadeira, onde os tempos entre falhas são considerados independentes. Deste modo, comprova-se a presença de um PPH visto que a taxa de falhas é constante ou aproximadamente constante. Por outro lado, caso (H_0) não seja verdadeira, aceita-se a hipótese alternativa (H_1) como resultado dos tempos entre falhas apresentarem dependência entre si. Assim, esta hipótese é representativa da presença de uma taxa de falhas não constante, em que a mesma obedece a um PPNH, cujos tempos entre falhas apresentam tendência (Assis, 2004) (H_0). Dito isto, o teste de hipótese é dado por:

H_0 : Taxa de falhas constante (PPH)

H_1 : Taxa de falhas não constante (PPNH)

Caso o teste seja **limitado pelo tempo**, a estatística de teste (z_0) é definida como:

$$z_0 = \left(\sqrt{12 \times n_f} \right) \times \left(\frac{\sum_1^{n_f} t_i}{T_0 \times n_f} - 0,5 \right) \quad (19)$$

Caso o teste seja **limitado pelo número de falhas**, (z_0) assume a seguinte expressão:

$$z_0 = \left(\sqrt{12 \times n_f - 1} \right) \times \left(\frac{\sum_1^{n_f-1} t_i}{T_0 \times (n_f - 1)} - 0,5 \right) \quad (20)$$

Tendo em conta que no pressuposto de um PPH, z_0 tende para uma distribuição Normal Reduzida (com um determinado valor de $Z_{\frac{\alpha}{2}}$, consoante o valor de α considerado), H_0 será rejeitada quando $|Z| > Z_{\frac{\alpha}{2}}$. Desta forma, para valores negativos de Z_0 , comprova-se a presença de um PPNH com taxa de falhas decrescente, comprovando-se por sua vez a presença de um PPH com taxa de falhas crescente nos casos em que Z_0 assume valores positivos.

7. Manutibilidade

Sendo a garantia da fiabilidade dos equipamentos um fator fundamental para a sobrevivência das empresas industriais, é então necessário ter em conta um aspeto muito importante, a manutibilidade dos equipamentos. Os sistemas atuais são cada vez mais complexos, o que torna cada vez mais importante a melhoria da manutibilidade dos equipamentos, principalmente na fase de conceção dos mesmos.

A manutibilidade de um equipamento diz respeito à característica intrínseca ao mesmo, que reflete a precisão, segurança, eficácia dos custos, facilidade e tempo requeridos para executar qualquer atividade de manutenção exigida ao mesmo. (Dhillon, B. S., 2007a) [31] A preocupação com a manutibilidade dos equipamentos não é uma questão recente. O início do conceito de manutibilidade remonta a 1901, quando os irmãos Wright assinaram contrato com a United States Army Signal Corps para o desenvolvimento de um avião. Uma das cláusulas definidas no contrato indicava que este deveria ser simples de operar e de manter (Dhillon, B. S., 2008) [32]. Segundo Dhillon, B. S., (2007a [31]) a manutibilidade divide-se em 6 subfactores: modularidade, simplicidade, consistência, acessibilidade documental, codificação e guias da documentação e auto-descrição.

Os requisitos de manutibilidade têm como objetivo determinar os esforços que serão exigidos aos potenciais utilizadores dos equipamentos e do pessoal da manutenção para a identificação das razões da ocorrência de falhas, para as corrigir e para verificar se estas foram corrigidas com sucesso (Dhillon, B. S., 2007a) [31]. A redução do tempo e

custos da manutenção projetada, a determinação do tempo e recursos despendidos nessas manutenções e do tempo de paragem devido à manutenção, são algumas das principais razões pelas quais devem ser aplicados os princípios de engenharia da manutibilidade (Dhillon, B. S., 2007a)^[31] A procura pela otimização dos equipamentos, associada à aplicação de princípios de engenharia da manutibilidade permite assim obter benefícios ao nível da redução dos tempos e custos projetados para as atividades de manutenção, com base em alterações de projeto, focadas na facilitação da realização das atividades de manutenção, na redução do número de horas de trabalho exigidas e dos recursos envolvidos nessas atividades.

A análise dos dados referentes à manutibilidade dos equipamentos, juntamente com os dados referentes à fiabilidade dos mesmos permite então determinar a disponibilidade desses equipamentos. A análise da manutibilidade dos equipamentos deve ser vista como um processo de melhoria contínua, com especial destaque na fase de conceção dos mesmos. No processo de melhoria contínua da manutibilidade dos equipamentos, utilização de *checklists* como ferramenta de suporte é uma mais-valia pois é uma ferramenta simples, económica e de fácil desenvolvimento. Segundo Dhillon, B. S. (2007a)^[31] as *checklists* devem ser desenvolvidas pelos próprios profissionais da manutenção, com foque nas áreas consideradas essenciais, podendo ser posteriormente utilizadas na revisão do *design* dos equipamentos ao longo das várias fases do seu ciclo de vida, assim como na previsão da manutibilidade dos equipamentos.

O conceito de manutibilidade foca então, a importância da determinação dos esforços necessários para a identificação das razões da ocorrência de falhas, com a sua correção e avaliação do sucesso das ações realizadas nesse intuito.

A importância da obtenção de níveis elevados de fiabilidade dos equipamentos industriais, de forma eficaz e eficiente exige então a aplicação de um programa de manutenção preventiva a esses equipamentos, bem como uma análise das causas das falhas ocorridas nestes, de forma a efetuar um estudo de reengenharia destes equipamentos. Simultaneamente, é necessário otimizar a gestão da manutenção, de modo a padronizar procedimentos de trabalho, e a criar ferramentas de apoio às atividades de manutenção. Para tal, propõe-se a adoção de conceitos e ferramentas baseados na filosofia Lean, cujo objetivo é a otimização dos processos através da reorganização dos mesmos e da eliminação dos desperdícios.

Esta Unidade Tripla Elétrica tem as seguintes características:

Tabela 1 – Características da unidade tripla elétrica.

Características Gerais		Características de Funcionamento	
Comprimento	71052 mm	Tensão de Alimentação	25 KV A. C.
Largura	3204 mm	Potência Nominal do motor de tração	250 KW
Altura	4295 mm	Esforço de frenagem máximo	18,8 KN
Bitola da via	1668 mm	Frequência de comutação do IGBT da PMCF	650 Hz
Disposição dos rodados	2' 2'+B' o B' o +2' 2'	Velocidade Máxima	120 Km
Lotação		Carga (em toneladas)	
Passageiros sentados	264	Tara	135,7
Passageiros em Pé (máximo)	272	Normal	165,6
Passageiros em pé (sobrecarga)	308	Máxima	173,3
Total carga máxima	536	Sobrecarga	175,7
Total sobrecarga	572		

8.1. Funcionamento Elétrico

A automotora UTE 2240 é constituída por três veículos, uma motora e por dois reboques piloto com cabina de condução.

Na motora encontra-se instalado todo o equipamento de propulsão e de alta-tensão que é constituído por um pantógrafo, pelo equipamento de proteção montado no tejadilho, por um transformador principal e por dois grupos de propulsão independentes, cada um dos quais alimentando dois motores de tração. Consequentemente, cada um dos quatro rodados da motora é acionado por um motor de tração. Cada grupo de propulsão é constituído por um conversor de tração, formado por uma ponte PMCF, um ondulador de tração alimentado por esta, e por um conversor auxiliar.

8.1.1. Captação de Energia

A energia proveniente da catenária de 25 kV passa pelo pantógrafo para o disjuntor principal a vácuo (VCB) como mostra a figura 12.



Figura 12 – Sistema de captação de energia UTE 2240.

No tejadilho de cada motora encontra-se montado um disjuntor principal em associação com um seccionador de terra. O disjuntor principal estabelece a ligação para a passagem da energia do pantógrafo para o transformador principal sendo este um dispositivo principal de isolamento, segurança e proteção para o equipamento de alta-tensão.

No caso de ocorrência de avaria pode ser aberto em carga para isolar do equipamento de propulsão a alimentação de 25 kV. Este é comandado eletricamente e acionado pneumaticamente. A extinção do arco é conseguida devido a uma câmara de vácuo montada no próprio disjuntor.

Para se iniciar qualquer operação de manutenção, esta unidade tem um dispositivo de segurança, um seccionador de terra, que ao ser manobrado provoca curto-circuito nos dois polos do disjuntor principal. Este é acionado de forma manual a partir do interior da motora. Para manobrar o seccionador de terra é necessário colocar o pantógrafo fora de serviço para poder retirar uma chave que posteriormente irá ser usada no bloqueio do seccionador terra. Com isto consegue-se assegurar que o seccionador de terra não possa ser fechado enquanto o circuito de alta-tensão estiver em carga.

8.1.2. Transformador de Referência

O transformador de referência da tensão primária (T-PVR) está montado no tejadilho da motora. O enrolamento primário é ligado à saída da alta-tensão do pantógrafo. O enrolamento secundário é ligado aos transformadores de referência da tensão intermédia (T-IVR) localizados nos dois módulos do supervisor dentro do contentor do conversor de tração. O secundário é também ligado ao contador de energia estando protegido por um fusível.

O transformador T-PVR é utilizado para dar uma indicação de referência da tensão da catenária e também para dar uma indicação da tensão da catenária para fins de cálculos de consumo. Este é ligado a montante do disjuntor principal para que a indicação da tensão da catenária possa ser dada independentemente do estado aberto ou fechado.

Esta unidade está dotada de um dispositivo que protege o sistema de propulsão contra sobretensões que surjam na catenária e é denominado por para-raios. A função deste é descarregar qualquer sobretensão diretamente para a terra através das escovas de terra dos rodados.

Os picos de tensão de elevada energia, como por exemplo os raios, são conduzidos para a terra através das pontas projetadas para esse efeito.

8.1.3. Transformador Principal

O transformador principal está situado por baixo do leito da motora como mostra a figura 10. O transformador baixa a tensão nominal de alimentação de 25 kV 50 Hz para duas tensões de 900 Vef nos dois enrolamentos secundários. A figura 13 apresenta o transformador principal.



Figura 13 - Transformador principal.

Os dois enrolamentos secundários do transformador apresentam de projeto uma reactância especialmente elevada, para se adaptarem às características das pontes PMCF. Os enrolamentos são utilizados pelas pontes PMCF como fonte de tensão e como “armazém” de energia dinâmica. Os enrolamentos dos secundários estão ligados aos dois módulos de pré-carga do contentor do sistema de propulsão.

O transformador principal tem refrigeração forçada. Com o movimento da UTE o permutador de calor óleo-ar, que é parte integrante do transformador, também provoca arrefecimento devido à circulação de ar.

O transformador principal contém também dois transformadores de corrente (SCT1 e SCT2) que estão ligados aos relés de sobrecarga dos secundários situados dentro dos dois módulos do supervisor montados dentro do contentor do sistema de propulsão. Os transformadores SCT1 e SCT2 fornecem uma indicação da corrente que flui pelos enrolamentos secundários do transformador principal a fim de permitir que o equipamento de propulsão seja protegido e isolado se ocorrer uma sobrecarga.

8.1.4. Sistema de Propulsão

O contentor do sistema de propulsão contém quatro blocos conversores onde dois estão configurados como pontes PMCF (ponte monofásica de comutação forçada) e dois como onduladores. A figura 14 mostra um contentor de propulsão.



Figura 14 - Contentor do sistema de propulsão.

Cada ponte PMCF é um módulo independente e contém um dispositivo de controlo da corrente que indica à unidade de comando e controlo (CCU) associada o valor da corrente que está a fluir pela ponte PMCF. A CCU utiliza esta medida nos seus algoritmos de comando e controlo, para reduzir níveis de corrente contínua.

Em cada ponte estão montados oito transístores bipolares de porta isolada (IGBT) configurados como duas pontes retificadoras monofásicas PMCF (dois IGBTs em paralelo em cada braço da ponte).

Cada ponte conta também com um condensador de filtro (CF) com uma resistência de descarga. Estes constituem metade do grupo de condensadores do filtro do circuito intermédio para reduzir a ondulação “*ripple*” da tensão de saída. A outra metade do grupo de condensadores do circuito intermédio encontra-se no ondulador (OCU) correspondente.

O contentor do sistema de propulsão contém dois conversores configurados como onduladores. A sua construção é semelhante ao das pontes PMCF. Cada ondulador é um módulo independente que contém um dispositivo de controlo da tensão do filtro que mede a tensão de entrada do ondulador.

No contentor estão montados dois IGBTs configurados como “*chopper*” para a frenagem reostática mais um IGBT configurado como diodo de roda livre. A saída destes está ligada à resistência de frenagem. Este conjunto funciona quando não é possível a frenagem dinâmica com devolução de energia para a rede, devido a limitações da

alimentação da catenária. Existe uma proteção contra sobretensões para o “*chopper*” da frenagem reostática que consiste numa ação curto-circuitadora aos terminais da resistência de frenagem.

O contentor possui também seis IGBTs que estão configurados como ondulator trifásico (PWM) modulado com largura de impulsos. O ondulator fornece uma alimentação de tensão e frequência variáveis a dois motores de tração. A tensão é aplicada aos motores mediante a comutação simultânea dos IGBTs, de maneira que os terminais do motor ligado em estrela ora são alimentados com 1700 V d.c. ora com 0 V. Entre cada combinação de comutações é conservada sempre uma temporização para que seja garantido que não é aplicado um curto-circuito aos terminais do filtro do circuito intermédio, o que poderia ocorrer se os dois IGBTs da mesma fase fossem ligados ao mesmo tempo. Durante este período, um diodo de roda livre montado no interior do bloco de IGBTs mantém o fluxo da corrente. A forma de onda da tensão quase quadrada resultante apresenta taxa de harmónicas e perdas elevadas. Estas são reduzidas na potência máxima, funcionamento na gama das velocidades mais baixas, mediante o aumento do número de ações de comutação por ciclo, produzindo uma onda de tensão de fase com a forma modulada por largura de impulsos (PWM).

8.2. Funcionamento Pneumático

8.2.1. Produção de Ar

O compressor de parafuso utilizado nas automotoras UTE 2240 são do tipo SL 22 como mostra a figura 15 e é constituído por três grupos principais: o motor, o compressor e o acoplamento/refrigerador. Estes encontram-se montados num grupo compacto autoportante, o qual está acoplado elasticamente ao veículo através de elementos de apoio.

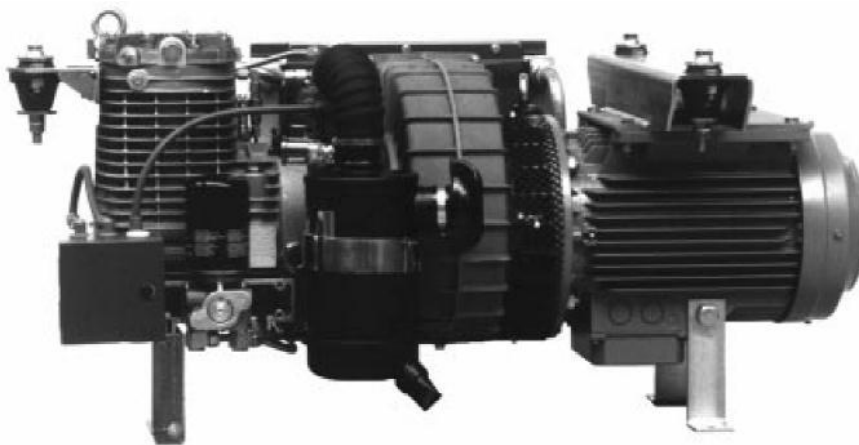


Figura 15 - Compressor de parafuso (manual do fabricante).

O meio do acionamento do compressor é efetuado através de um motor elétrico trifásico.

O bloco compressor encontra-se instalado na carcaça do mesmo e integrado no sistema de separação de óleo. A este grupo principal pertencem ainda os componentes de filtragem, de regulação e de vigilância do circuito do óleo.

A estrutura do acoplamento é de forma anelar e o corpo em espiral sendo estes de construção robusta possibilitando assim o modelo autoportante do grupo. O corpo em espiral recebe o ventilador radial, que está fixado ao acoplamento entre o motor e o bloco do compressor. No corpo em espiral encontra-se o radiador, executado em versão dupla, como arrefecedor de ar e de óleo. Este transmite o calor gerado na compressão ao ar de refrigeração fornecido pelo ventilador radial. A figura 16 mostra a constituição do compressor principal.

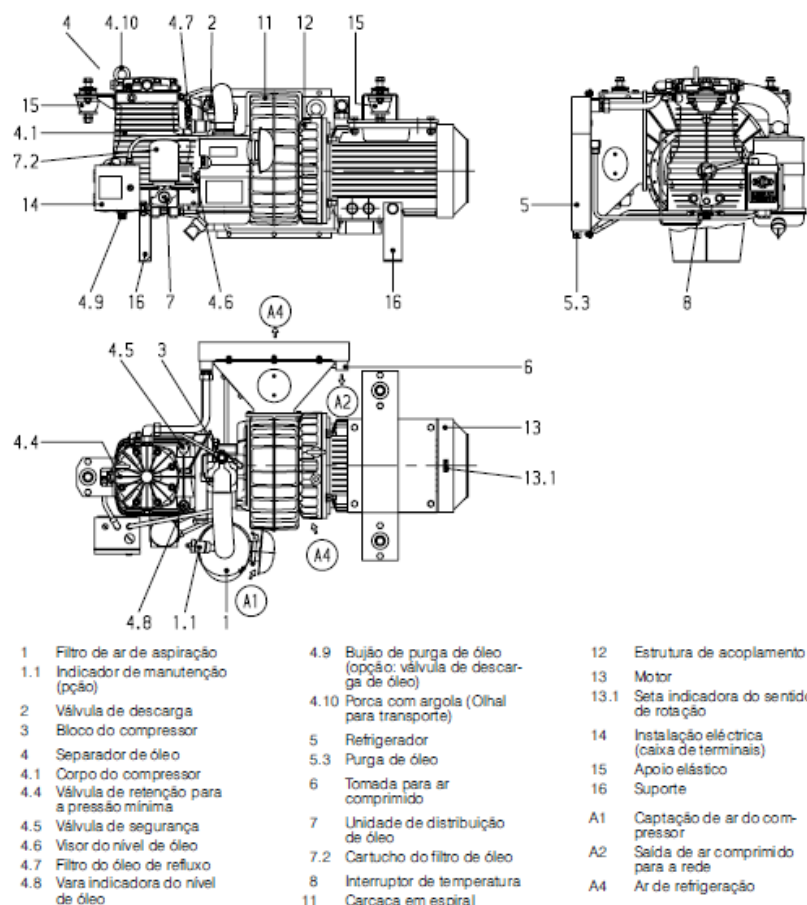


Figura 16 - Constituição do compressor (manual do fabricante).

Do ponto de vista da sua construção, os compressores de parafuso são máquinas de deslocamento equipadas de dois rotores helicoidais. A alimentação de ar processa-se praticamente sem impulsos, a sobrepressão de saída de 10 bar é produzida num estágio.

Os compressores de parafuso funcionam como máquinas de deslocamento, ou seja, pelo princípio de alimentação forçada e são construídos como máquinas rotativas de duplo eixo. O bloco do compressor é constituído por dois rotores com engrenagem transversal, engrenados simetricamente, acomodados em caixa de ferro fundido como mostra a figura 17.

A entrada do ar processa-se radialmente e a descarga axial sendo efetuada através de aberturas na carcaça do bloco do compressor.

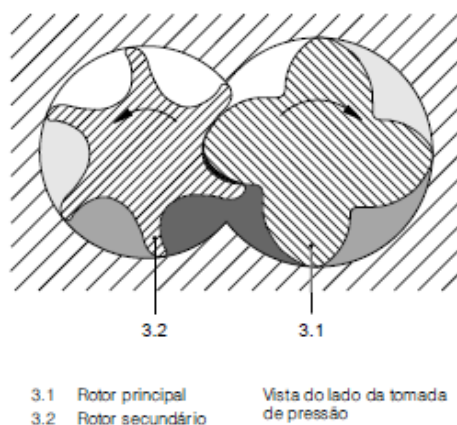


Figura 17 - Perfil da engrenagem do motor (manual do fabricante).

O funcionamento dos rotores varia quase continuamente o volume de ar entre os dentes. Se a abertura de admissão estiver livre, o ar é aspirado. Se ambas as aberturas dos rotores estiverem tapadas, o ar é comprimido e simultaneamente conduzido no sentido da descarga. Se os rotores, por fim, libertarem a abertura de descarga, o ar comprimido na pressão final é expulso na rotação seguinte.

Neste princípio de construção, a relação interna de compressão encontra-se definida construtivamente pela posição e tamanho das aberturas no corpo.

Para vedação dos flancos dos dentes do rotor entre si e em relação ao corpo é injetado óleo no bloco do compressor. Além disso o óleo de injeção absorve o calor que, em grande parte, é produzido na compressão e evacua-o. A compressão processa-se, portanto, quase só isotérmica. Para manter as perdas internas de refluxos em níveis baixos, o compressor não deverá funcionar abaixo da velocidade mínima prescrita.

Do ponto de vista dinâmico, o princípio construtivo os compressores de parafuso possuem menos peças móveis do que outro tipo de compressor, como por exemplo êmbolos e válvulas. Possibilitando, por isso, o funcionamento sem vibrações e o transporte sem pulsações.

Deste modo, o resultado é uma baixa solicitação dinâmica aos rolamentos e ao acoplamento, conceção económica do acionamento e nível de ruído relativamente baixo em serviço.

Como a engrenagem de ambos os rotores funcionam praticamente sem desgaste e o número total de peças é baixo, este princípio de construção apresenta baixos custos de manutenção.

8.2.2. Tratamento de ar

Nas instalações de ar comprimido a humidade no ar provoca frequentemente avarias e desgaste prematuro dos componentes pneumáticos devido à corrosão e ao risco de congelação.

O ar atmosférico contém sempre vapor de água. Enquanto a humidade permanecer na forma de vapor está presa no ar e ultrapassado o limite de saturação (=100% de humidade relativa), a água precipita-se sob a forma de gotas.

O diagrama apresentado na figura 18 mostra que o limite de saturação varia com a temperatura de modo que o ar pode admitir mais humidade com o aumento da temperatura. Deste modo, está explicado porque é que não existe precipitação no compressor durante o processo de compressão. A precipitação surge quando o ar comprimido é arrefecido em radiadores.

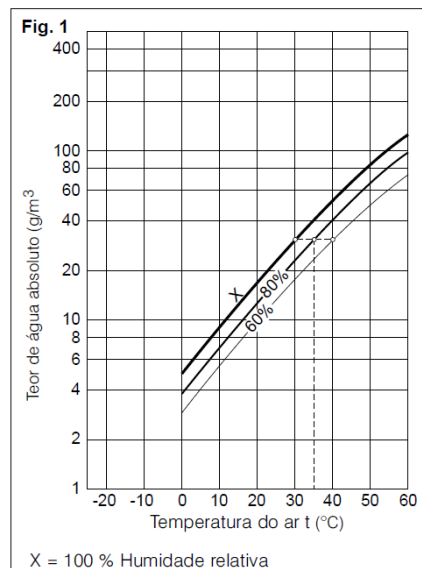


Figura 18 - Diagrama Temperatura vs Humidade (manual do fabricante).

Na base deste processo encontra-se um fenómeno físico, o ar comprimido com humidade atravessa um agente exsicador, formado por cristais de alumínio-silicatos que, pela sua estrutura molecular, possuem superfícies interiores específicas extraordinariamente grandes e com isso subtraem o vapor de água ao ar que o atravessa.

Em comparação com outros exsiccantes, oferecem a vantagem essencial de serem largamente insensíveis ao óleo. Pode escolher-se um silicato com porosidades muito uniformes,

de tal modo que possam ainda assim ser adsorvidas as moléculas da água, mas as moléculas de óleo não, por serem maiores.

Um secador por adsorção com regeneração a frio, do tipo de câmaras duplas, trabalha simultaneamente em duas fases, isto é, as fases de secagem e de regeneração decorrem paralelamente uma à outra. Enquanto o fluxo principal do ar é secado numa torre, o exsicante do outro reservatório é regenerado.

O ar comprimido, ainda húmido, proveniente do compressor, depois de entrar no secador passa primeiramente pelo separador de óleo para remoção do óleo. A seguir, o ar passa pela torre, contendo o agente exsicante operacional. Ao atravessar o produto adsorvente, a água contida no ar é extraída de modo que à saída do secador do ar a humidade relativa do fluxo principal não seja superior a 35 %.

Uma parte do ar seco do fluxo principal de ar, é desviada, expandida através de um *gigleur* de regeneração e, atravessando o exsicante saturado da segunda torre é expulsa para a atmosfera.

As torres são comutadas de acordo com um período de comutação pré estabelecido.

A figura 19 mostra o secador de ar numa posição de serviço em que a torre (a) se encontra na fase de secagem e a torre da (b) na fase de regeneração.

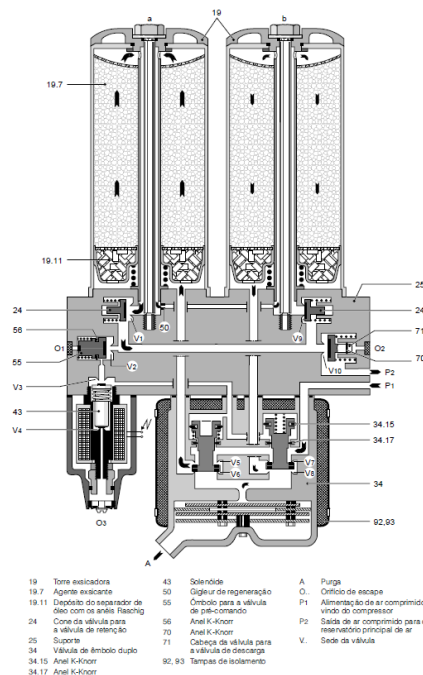


Figura 19 - Torres de secagem (manual do fabricante).

8.2.3. Sistema de Freio

O sistema de freio é controlado por microprocessadores que faculta uma gestão do freio que lê e interpreta os sinais da gestão de todos os equipamentos envolvidos no processo de frenagem incluindo as funções de diagnóstico e comunicação com o sistema de comando e controlo da automotora. Desta forma, é proporcionado um fluxo de informação que confere ao sistema um elevado grau de segurança nomeadamente em termos de funcionamento e disponibilidade.

Adicionalmente ao freio de serviço que é gerido pela unidade eletrónica de comando e controlo de freio (μ MICEF) foi previsto um freio indireto de recurso funcionando este independentemente dos outros sistemas.

A automotora UTE 2240 possui três unidades μ MICEF, uma em cada veículo, que controlam o equipamento pneumático de freio e o freio dinâmico (*blending*).

Esta unidade é responsável por gerir o freio controlando os seguintes sistemas de freio:

- ✓ Freio *Blending*,
- ✓ Freio pneumático de serviço, incluindo o comando e controlo da conduta Geral (CG),
- ✓ Monitorização do estado do freio de estacionamento por mola acumuladora.

Esta unidade usa prioritariamente o freio *blending* até esgotar a sua capacidade, só aplica o freio pneumático se a solicitação de frenagem for superior à capacidade do freio dinâmico, minimizando o desgaste nos calços de freio. A disposição da unidade tripla é (CR1-CM-CR2) sendo que (CR) corresponde aos reboques comandados e (CM) à unidade motora. O freio dinâmico é realizado pela desaceleração dos motores de tração passando estes de consumidores a geradores. Estes, só se encontram no veículo motor (CM) sendo que quando é atuado o freio pneumático confere um aperto em toda a unidade.

O equipamento de freio mecânico proporciona as seguintes funções básicas:

- ✓ Complemento do freio dinâmico durante a frenagem de serviço quando a potência de freio dinâmico é insuficiente.
- ✓ Correção do esforço de frenagem com a carga, quer no caso do freio de serviço quer de emergência.
- ✓ Substituição do freio de serviço pelo freio dinâmico em caso de falha deste.

O equipamento de gestão de freio comanda, supervisiona e diagnostica os sistemas e todos os componentes envolvidos no processo de frenagem seja ele dinâmico seja electropneumático.

O freio dinâmico é sempre o prioritário sendo este aplicado nos *bogies* motores. Caso este não consiga satisfazer a solicitação de frenagem imposta, será então complementado com a aplicação do freio pneumático direto.

Esta unidade está também equipada com o freio indireto ou automático que é controlado a partir da pressão da conduta geral (CG) definida em função do sinal de pedido de freio processado pela unidade eletrónica. Esta pressão é detetada por um transdutor de pressão de alta precisão ligado a uma válvula relé. Em todos os modos de frenagem, é controlada simultaneamente a pressão da CG e do freio direto electropneumático por razões de redundância.

No caso de o comboio ser formado por várias unidades acopladas a cabina ocupada toma a posição de gestor de freio comunicando entre elas através do bus de dados.

Todos os componentes da unidade de comando electropneumático estão inseridos em painéis pneumáticos situados por baixo da automotora.

O freio indireto ou automático é controlado através de um manipulador que gera um sinal elétrico de pedido de freio em função da posição do manipulador. Este sinal é processado por uma unidade de comando e enviado ao equipamento de gestão de freio. Para converter o sinal elétrico numa pressão proporcional, o sistema pneumático possui um conversor analógico dotado de dois eletroímans de regulação para cada um, possibilitando aumentar ou diminuir a pressão de comando. O conversor analógico possui também um transdutor de pressão para fazer a ligação com a eletrónica de comando.

No caso de avaria do controlo primário da pressão da CG, esta unidade está complementada com uma válvula de comando independente (freio de recurso) que emite um sinal dependendo do ponto do manipulador. Este manipulador ao ser movimentado provoca uma descarga na CG fazendo com que haja uma descompensação nos distribuidores e por consequência o aperto do freio.

O freio de estacionamento, como o nome indica, é utilizado quando a unidade está imobilizada. Este tipo de freio funciona normalmente ao contrário dos outros freios que quando lhe é retirada a pressão aperta e para aliviar é necessário atingir uma pressão acima

da pressão da conduta geral. Para evitar uma sobreposição de esforços do freio de estacionamento e do freio de serviço foi instalada uma válvula que tem como função evitar a entrada de ar de ambos os circuitos ao mesmo tempo.

O circuito de freio tem como referência válvulas de pesagem que são usadas em carruagens e veículos suburbanos dotados de *bogies* com suspensão secundária com molas helicoidais e equipados com freios automáticos de ar comprimido do tipo automático e variável, isto é, cujo esforço de frenagem é variável com a carga. As válvulas de pesagem são reguladores pneumáticos de pressão controlados por uma mola cuja força é função da deformação. Estão instalados entre a caixa (“massa suspensa”) e o *bogie* (“massa não suspensa”) sendo fixados a estes dois elementos estruturais do veículo por meio de dois olhais com rótulas. Estas válvulas foram projetadas para gerar um sinal pneumático de “carga” T proporcional à deflexão produzida na suspensão secundária do veículo pela carga do mesmo.

O equipamento de comando e controlo da antipatinagem (ABS) está integrado na unidade eletrónica de comando e controlo por microprocessador μ MICEF. Esta, deteta a velocidade de cada rodado e controla a pressão dos cilindros de freio através das electroválvulas de antipatinagem, de acordo com as condições de desaceleração dos rodados comparando-as com a desaceleração esperada e a velocidade de referência do veículo.

A lógica da unidade de comando e controlo por microprocessador inclui o diagnóstico de avarias bem como a indicação centralizada de anomalias de modo a facilitar quer a operação quer a manutenção destes equipamentos. O equipamento inclui também as electroválvulas antipatinagem e sensores de velocidade de um canal.

O sinal dos sensores de velocidade é isolado e comparado para pré-fixar os níveis do limiar de desaceleração. No fim, a velocidade do rodado é comparada com uma velocidade fictícia do veículo simulada eletronicamente.

Quando se deteta uma patinagem, a unidade eletrónica tenta controlá-la comandando o desaperto/aperto dos freios através da excitação/desexcitação das electroválvulas de antipatinagem. O equipamento de comando e controlo de antipatinagem está também ativo durante a frenagem de emergência.

9. Manutenção das Automotoras UTE 2240

A Manutenção Preventiva e Corretiva destas unidades é da responsabilidade do Parque Oficinal do Centro e do Parque Oficinal do Norte em todas as especialidades de trabalho, nomeadamente Elétrica, Mecânica e Ensaios, sendo diretamente responsável pela execução dos trabalhos de manutenção e ensaios previstos ao Plano de Qualidade, por forma a garantir a fiabilidade, disponibilidade e segurança do funcionamento das Unidades Automotoras.

9.1. Plano de Qualidade

O plano da qualidade tem por objetivo definir genericamente as tarefas, verificações de trabalho sistemático a efetuar na manutenção preventiva das visitas periódicas previstas para as Unidades Triplas Elétricas da série 2240, de acordo com o seu Ciclo de Manutenção. Define ainda o fluxograma do processo com identificação de responsabilidades, das várias fases, documentos e registos que segue a disposição da figura 20.

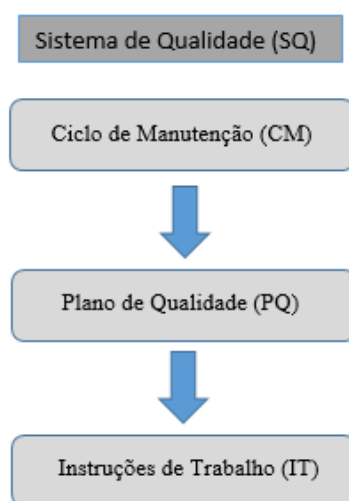


Figura 20 – Ciclo do plano de manutenção preventivo.

As periodicidades e as operações a efetuar indicadas Plano de Qualidade resultaram do Plano de Manutenção proposto pelo fabricante, da experiência obtida na sua manutenção e do tipo de exploração a que o material circulante está sujeito. O seu conteúdo é igualmente analisado e revisto com a aplicação da Metodologia RCM.

O fluxograma da figura 21 mostra o ciclo de manutenção das visitas das automotoras UTE 2240. A tabela 2 apresenta a periodicidade das intervenções de manutenção.



Figura 21 – Fluxograma das intervenções (documento interno).

Tabela 2 – Periodicidade das intervenções de manutenção

Intervenção			Frequência das visitas periódicas	Pontos de execução das restantes visitas	Tolerância admissível	Imobilização
Descrição	Siglas					
Visita V5 a)	V5		10.000 km	---	± 1.000 km	4 horas
Visita V4	V4		40.000 km	---	± 4.000 km	8 horas
Visita V3	V3		160.000 km	---	± 16.000 km	3 dias
Visita V2.1	V2.1		---	320.000 km	± 32.000 km	6 dias
Visita V2.2	Visita V2.2a	V2.2a	---	V2.1+310.000 km	± 31.000 km	4,5 dias
	Visita V2.2b	V2.2b	---	V2.2a+10.000 km	± 1.000 km	4,5 dias
Visita V2.3	Visita V2.3a	V2.3a	---	V2.1+630.000 km	± 63.000 km	5 dias
	Visita V2.3b	V2.3b	---	V2.3a+10.000 km	± 1.000 km	4 dias
Visita V2.4	Visita V2.4a	V2.4a	---	V2.2b+630.000 km	± 63.000 km	5 dias
	Visita V2.4b	V2.4b	---	V2.4a+10.000 km	± 1.000 km	5 dias
Visita V2.5	Visita V2.5a	V2.5a	---	V2.4b+310.000 km	± 63.000 km	5 dias
	Visita V2.5b	V2.5b	---	V2.5a+10.000 km	± 1.000 km	5 dias
Visita anual	VA		Anual c)	---	---	3 dias
Torneamento preventivo	TP		240.000 km	---	± 24.000 km	2 dias
Levantamento para troca de bogies	LP		1.600.000 km	---	±240.000 km	3 dias

9.2. Visitas de Manutenção Periódica

A manutenção periódica sistemática dos equipamentos inclui as operações dos tipos:

- a) Inspeção visual, em caso de dúvida com recurso a técnicas de apoio (ex.: lupa, chaves dinamométricas, líquidos penetrantes, etc.);

Para garantir a integridade dos *bogies* está contemplado, nas intervenções de manutenção sistemática, a verificação de todas as soldaduras. A figura 22 mostra um *bogie* de uma automotora UTE 2240.



Figura 22 - *Bogie* da automotora UTE 2240.

O binário de aperto de parafusos garante a fixação dos componentes, por isso é necessário verificar o mesmo. Para efetuar esta tarefa existe instruções de trabalho com os vários binários de aperto. A figura 23 mostra um exemplo de alguns parafusos inseridos no sistema de manutenção preventivo sistemático.



Figura 23 - Suporte dos conversores.

Nas intervenções de manutenção e dependendo do seu plano está contemplado a verificação da integridade dos componentes constituintes da automotora. Para tal, os técnicos de manutenção têm de seguir escrupulosamente as instruções de trabalho. A figura 24 mostra alguns dos componentes a intervencionar.



Figura 24 - Componentes da UTE 2240.

b) Controle e regulação de correto funcionamento;

As portas de acesso à unidade são de acionamento elétrico e os técnicos de manutenção nas intervenções têm de verificar o seu funcionamento, que contempla a abertura, fecho e anti-entalamento. A figura 25 mostra uma porta de acesso.



Figura 25 - Porta de acesso.

Estas unidades estão equipadas com duas casas de banho. Nas intervenções de manutenção é necessário verificar o bom funcionamento de todos os componentes. As verificações contemplam a porta do Wc, a sanita a vácuo, o secador de mãos entre outros. A figura 26 mostra um Wc de uma automotora.



Figura 26 - WC da automotora UTE 2240.

Nas intervenções estão inseridas verificações de funcionamento da climatização dos salões. A figura 27 mostra uma unidade de Ar Condicionado situada no tejadilho da automotora.



Figura 27 - Unidade de ar condicionado.

c) Medição de parâmetros de vários tipos de grandezas e equipamentos;

Para garantir a integridade dos rodados após efetuarem um número pré-determinado de Km são efetuadas medições dos veios dos rodados recorrendo à tecnologia por ultrassons. Estes ensaios são efetuadas por pessoal especializado da oficina de rodados. A figura 28 apresenta a unidade de ensaio de ultrassons.



Figura 28 - Unidade de ensaio de ultrassons.

A medição de contaminação de líquidos lubrificantes é um método de manutenção preventiva condicionada e é usada na manutenção das automotoras UTE 2240 para descartar possíveis problemas nas engrenagens do sistema de tração. Com isto consegue-se avaliar a quantidade de contaminantes no líquido lubrificante que podem ser metálicos, contaminação por água ou sujidades diversas.

Este processo também é usado para analisar o óleo do transformador principal de modo a verificar a capacidade dielétrica do mesmo.

No que diz respeito a folgas e/ou desgastes de componentes, é necessário realizar nas intervenções de manutenção sistemática medições nos engates automáticos, mostrados na figura 29.



Figura 29 - Engate automático.

- d) Limpeza, lubrificação e inspeção de níveis de óleo;

Para diminuir o desgaste e garantir o bom funcionamento dos componentes é necessário efetuar lavagens aos *bogies*, sopragens de componentes exteriores à unidade e garantir os níveis de lubrificantes e a lubrificação adequada dos componentes.

- e) Troca sistemática de determinados equipamentos, ou de parte dos mesmos;

A troca sistemática de componentes está pré estabelecida no plano de manutenção e terminado o período de vida útil de um determinado componente é necessário intervir nele de modo a renovar esse período. Estas intervenções garantem a sua nova utilização bem como mantêm ou aumentam a sua manutibilidade. Dentro dos componentes inseridos nesta troca, estão os componentes do sistema pneumático de freio, engates, sanitas, baterias, entre outros.

A figura 30 mostra o cofre das baterias da automotora UTE 2240.

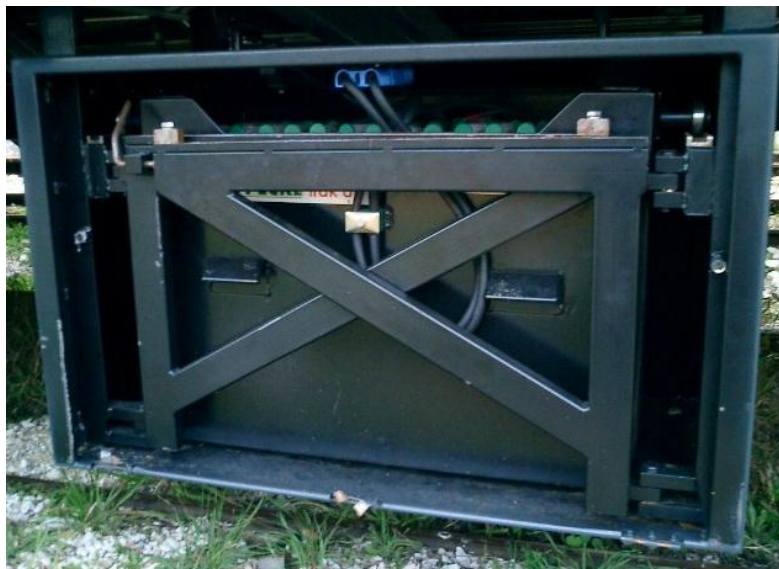


Figura 30 - Cofre das baterias.

- f) Ensaios inerentes à garantia do bom funcionamento e da segurança de operação das automotoras;

Após se efetuar qualquer tipo de manutenção é necessário garantir o bom funcionamento dos componentes intervencionados. Para isso são efetuados ensaios com recurso a computadores onde ficam gravados os mesmos.

Os ensaios efetuados são:

- ✓ Ensaios de freio;
- ✓ Ensaio de funcionamento do sistema de climatização;
- ✓ Registos de falhas durante a operação.

Esta automotora memoriza na sua unidade de registo todas as ocorrências durante a operação. Assim, possibilita à reparadora uma intervenção menos demorada como também facilita uma melhoria para evitar o acontecimento de novas ocorrências.

- g) Registos que suportam e evidenciam as operações realizadas, bem como a sua rastreabilidade.

Numa manutenção regida pelo RCM é necessário conter documentos que comprovem as intervenções e ensaios efetuados. Estes registos servem para garantir, quantificar e melhorar as intervenções efetuadas.

Todas as intervenções efetuadas sejam do tipo preventiva seja do tipo corretiva são registadas em documentos devidamente normalizados. Estes registos são:

- ✓ Folhas de registo de operações,
- ✓ Folha de registo de dimensões dos rodados,
- ✓ Folha de registo das medidas da suspensão,
- ✓ Registo do movimento de órgãos mecânicos e elétricos.

9.3. Instruções de trabalho das Válvulas Pneumáticas

No plano da manutenção sistemática está incluída a reparação integral de alguns componentes pneumáticos. Após a sua reparação e para garantir o seu bom funcionamento é necessário efetuar alguns ensaios que simulem a operação na unidade. Para isso, a reparadora construiu um banco de ensaios onde descarta possíveis falhas nos componentes reparados. A figura 31 mostra o banco de ensaios construído para o efeito.



Figura 31 - Banco de ensaio de pneumáticos.

A figura 32 mostra o esquema do banco de ensaio de pneumáticos.

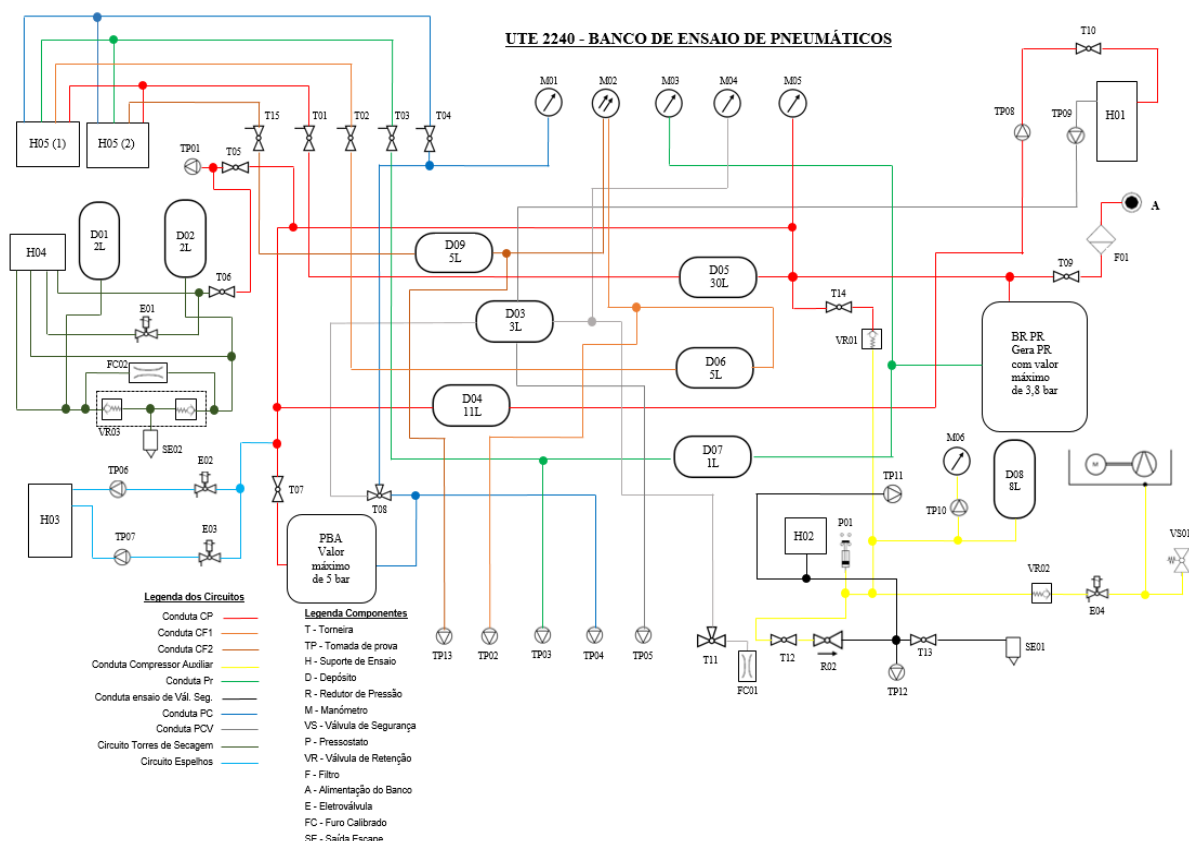


Figura 32 - Esquema pneumático do banco de ensaio de pneumáticos.

Dentro das válvulas reparadas estão as que constituem o sistema de freio como por exemplo a válvula de pesagem, redutores de pressão, válvulas de comando, pressostatos, electroválvulas, etc.

Para uniformizar os ensaios dos componentes pneumáticos foram elaboradas instruções de trabalho que possuem todo o procedimento de ensaio bem como todos os valores de referência para o mesmo. É de referenciar que todas as instruções estão numeradas e averbadas no sistema de qualidade.

Para poder elaborar as instruções de trabalho foi necessário diferenciar todos os componentes do banco, possibilitando assim fazer a sua distinção. Todas as instruções de trabalho estão em conformidade com as normas do fabricante.

As instruções de trabalho de ensaios devem ser sempre diretas, simples e precisas, pois quando o operador as está a consultar não deverá ter qualquer dúvida relativamente à execução dos mesmos. Uma das instruções elaboradas foi da válvula SIFA [17]. De seguida será exposto o procedimento de ensaio da mesma.

9.3.1. Instrução de Trabalho do Ensaio de Electroválvula

Esta válvula tem como função descarregar a Conduta Geral (CG) com o objetivo de produzir uma frenagem de emergência sempre que for comandada a sua abertura na sequência da atuação do sistema Homem-Morto. A atuação (abertura) da válvula ocorre sempre que o sinal de comando desaparece.

Para conseguir efetuar o ensaio desta electroválvula é necessário garantir um circuito como o representado na figura 33.

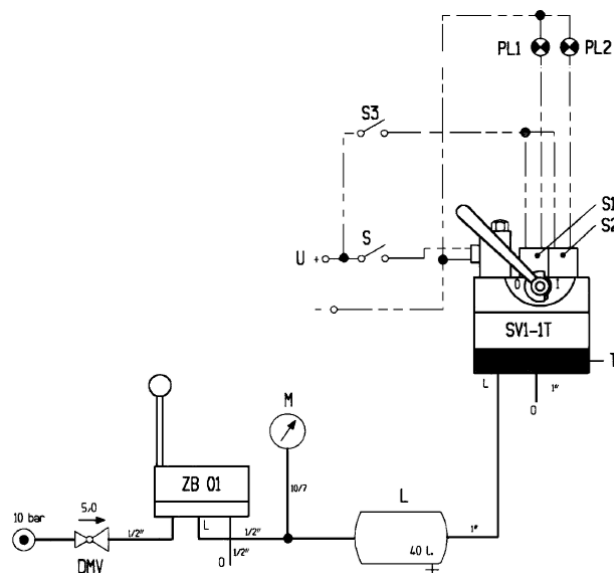


Figura 33 - Ensaio da válvula SIFA [33].

- **Ensaio**

Procedimento:

- ✓ Montar a válvula no suporte H06,
- ✓ Montar a válvula no suporte H09,
- ✓ Ligar a tomada de prova TP09 na ligação L da válvula,
- ✓ Ligar o disjuntor diferencial DE01,
- ✓ Ligar o disjuntor geral DE02,

- ✓ Ligar o disjuntor DE06,
- ✓ Ligar o cabo CA01 da bobina à tomada C05,
- ✓ Torneiras T08 e T11 com o manípulo para cima,
- ✓ A leitura será feita no manómetro M04.

- **Ensaio de Estanqueidade**

Procedimento:

- ✓ Elevar a pressão até $M04 = 5^{\pm 0,1} \text{ bar}$ através da caneta AD02,
- ✓ Comutar o manípulo da torneira T08 para a direita,
- ✓ Comutar a manípulo 46 (fig. 33) da válvula para a posição I,
- ✓ Verificar se a queda de pressão no manómetro M04 não é superior a 0,1 bar em 5 minutos.

- **Ajustes**

- **Ensaio do micro interruptor de válvula em serviço**

Procedimento:

- ✓ Comutar a torneira T08 para cima (Manómetro $M04 = 5^{\pm 0,1} \text{ bar}$),
- ✓ Ligar através do cabo CA02 o micro interruptor S1 da válvula na ligação do circuito NO (fig. 30) à tomada C02 (Série),
- ✓ Comutar o manípulo 46 da válvula (fig. 33) para a posição I, a lâmpada de série L08 deve acender,
- ✓ Comutar o manípulo 46 da válvula (fig. 33) para a posição O, a lâmpada de série L08 deve apagar.

- **Ensaio de funcionamento**

Procedimento:

- ✓ Manípulo 46 (fig. 33) da válvula na posição I,
- ✓ Desligar a ficha da electroválvula. Deverá originar uma descarga franca pelo escape da válvula,
- ✓ Ligar a ficha da electroválvula,

- ✓ Ligar através do cabo CA02 o micro interruptor S2 da válvula na ligação do circuito NO (fig. 34) à tomada C02 (Série),
- ✓ Baixar a pressão através da caneta AD02 até $M04 = 2,5^{\pm 0,1} \text{ bar}$,
- ✓ Fazer variar a pressão através da caneta AD02 para efetuar a mudança de estado do micro interruptor da válvula,
- ✓ A lâmpada L08 deve acender quando $M04 = 3^{\pm 0,1} \text{ bar}$,
- ✓ A lâmpada L08 deve apagar quando $M04 = 2,5^{\pm 0,1} \text{ bar}$.

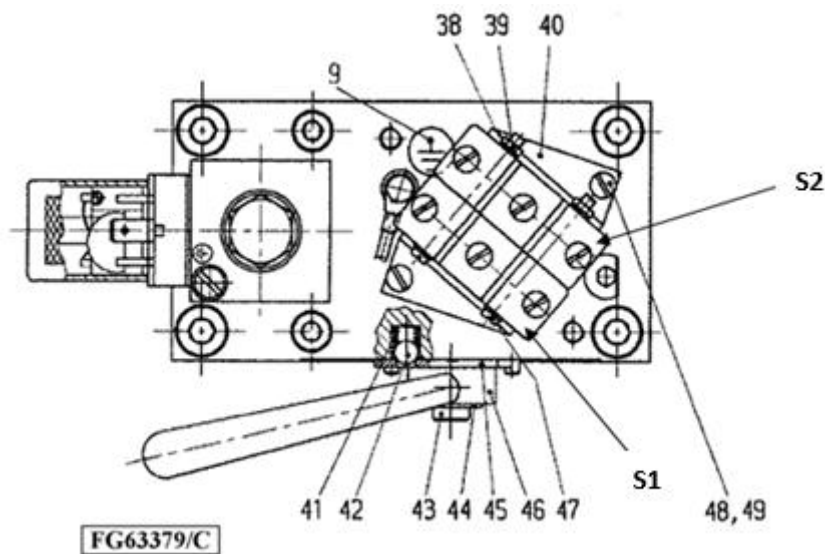


Figura 34 – Vista de cima da válvula SIFA [33].

Nota:

- Para regular a pressão de atuação do micro interruptor deve apertar/desapertar o parafuso 12 (fig. 35) até obter os valores acima indicados.
- Retirar a pressão do circuito para proceder à regulação da válvula.

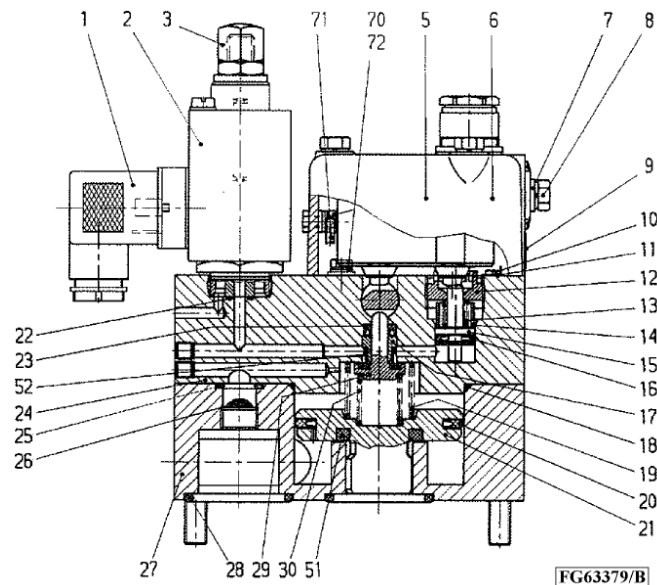


Figura 35 – Vista em corte da válvula SIFA [33].

No final do ensaio colocar a chapa 11 (fig. 35), apertar o parafuso 10 (M3x12) da (fig. 31) e no final dobrar a chapa 11 (fig. 35) de modo a bloquear o parafuso.

- **Finalização do Ensaio**

Procedimento:

- ✓ Torneiras T08 e T11 com manípulo para a direita de modo a retirar o ar do circuito,
- ✓ Desmontar a válvula do suporte de ensaio H09 e H06.

10. Abordagem ao Modo de Falha PEV

O PEV (Plano de Exploração de Vida) é promovido por uma equipa de trabalho selecionada para o efeito.

O objetivo deste Plano é avaliar o estado estrutural e funcional de componentes com vista a alargar o seu potencial de vida. No projeto dos componentes são estudados os planos de manutenção mas no decorrer da sua operação existe uma necessidade de efetuar uma avaliação de modo a adequar e/ou aumentar a sua vida útil, nunca pondo em causa a funcionalidade, fiabilidade e a manutibilidade dos mesmos.

Para efetuar o estudo é escolhido um número aceitável de componentes de modo a ter uma amostra significativa. Estes, serão posteriormente ensaiados separadamente e desmontados onde se efetuará uma avaliação detalhada do seu estado tanto a nível funcional como estrutural.

Após essa avaliação é deliberado pela equipa de trabalho um parecer que vai determinar a conformidade ou a não conformidade do componente. No caso de conformidade do componente, poderá ser agendado novo estudo ou a próxima intervenção. No caso de não conformidade a série destes componentes terão uma imediata intervenção de modo a não interferir na operação das unidades.

11. Gestão LEAN na Manutenção

11.1. A Filosofia LEAN

Desde a segunda guerra mundial, o acesso facilitado ao mercado trouxe mudanças ao nível do ambiente global de competitividade. Estas forças de mercado impulsionaram também a mudança do pensamento e técnicas da gestão da produção. Todas as gerações, desde há cerca de 200 anos atrás, contribuíram para a evolução dos sistemas de gestão e tecnologias de produção. Nestas contribuições estão incluídos os 14 maiores sistemas de gestão e inovações tecnológicas, bem como as 8 tecnologias que levaram ao desenvolvimento do sistema de gestão *Lean*, como se pode observar na figura 36.

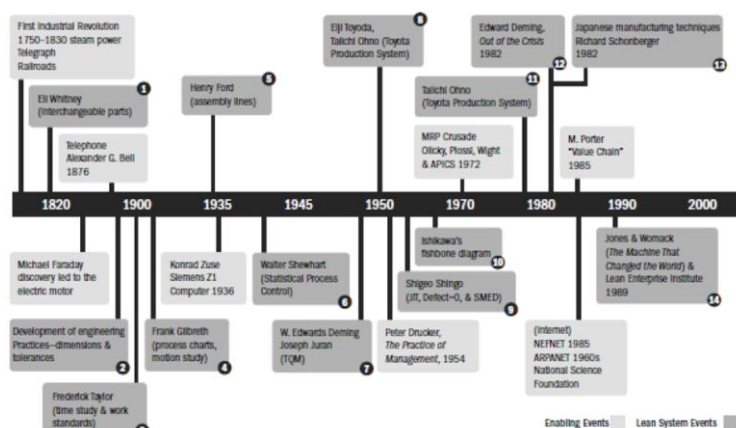


Figura 36 - Cronograma do sistema de gestão da produção [34].

O principal objetivo da filosofia *Lean* é a maximização da criação de valor através da redução do desperdício, ou seja, criar mais valor com menos recursos (*Lean Enterprise Institute*, 2008) [34]. Uma organização *Lean* compreende o que é o valor para o cliente e foca-se nos processos chave para aumentá-lo. O objetivo final será a criação perfeita de valor para o cliente, através de um processo perfeito de criação de valor. (*Lean Enterprise Institute*, 2008) [34].

Para atingir esse objetivo, a filosofia *Lean* foca-se na otimização do fluxo de produtos e serviços, segundo uma gestão horizontal das tecnologias, bens e departamentos. (*Lean Enterprise Institute*, 2008) [34]. Com a eliminação dos desperdícios ao longo do fluxo de valor, em vez de esta ser feita apenas em pontos isolados, são criados processos que necessitam de menos recursos humanos, menos espaço, menos capital e menos tempo para fazer produtos a um custo muito inferior e com muito menos defeitos, quando comparados com os sistemas tradicionais de negócio. As empresas adquirem a capacidade de resposta às mudanças das exigências dos clientes, com um elevado nível de qualidade, baixo custo e com tempos muito reduzidos de mudança.

Adicionalmente, a gestão da informação também se torna mais simples e eficaz (*Lean Enterprise Institute*, 2008) [34]. O primeiro, e bem conhecido engenheiro industrial Frederick Winslow Taylor, considerado o pai da gestão científica, observou de perto o modo como eram efetuados os trabalhos nas fábricas de aço, medindo o seu *output* para descobrir o método mais eficiente de executar as tarefas necessárias (Schmidt, J. e Lyle, D., 2010) [15]. Taiichi Ohno separou os desperdícios em sete tipos diferentes:

- ✓ Excesso de produção,
- ✓ *Stocks*,
- ✓ Transporte desnecessário,
- ✓ Tempo de espera/armazenamento,
- ✓ Processos/técnicas de trabalho impróprios,
- ✓ Movimentos desnecessários,
- ✓ Desperdício de material e reparações.

Efetuando uma analogia entre os processos produtivos e as atividades de manutenção podemos considerar o “excesso de produção” como sendo equivalente ao excesso de atividades de manutenção, efetuadas com base num planeamento incorreto, com tempos demasiado curtos entre atividades de manutenção.

A criação de *stocks* tem a mesma finalidade, quer seja associada a um processo produtivo ou a atividades de manutenção, que consiste em garantir um nível mínimo de existências de um determinado bem.

O objetivo da aplicação da filosofia *Lean* à gestão das existências de produtos, neste caso peças de substituição, é a otimização da gestão das existências destas peças, de modo a garantir a quantidade mínima e necessária, de modo a reduzir os custos de armazenamento e de posse. Numa linha de produção, o transporte dos produtos entre as várias estações de trabalho corresponde a um desperdício, quer do tempo despendido, quer de energia gasta nesse mesmo transporte. O tempo de espera entre as várias fases do processo produtivo é também considerado uma fonte de desperdício. Do mesmo modo, o tempo de espera provocado pela organização ineficiente do trabalho de manutenção a efetuar, corresponde a um desperdício. A adoção de processos ou técnicas de trabalho impróprias provoca desperdícios de recursos de tempo e de energia despendidos a executar tais processos e técnicas.

O mesmo princípio se aplica à manutenção, cuja adoção de procedimentos e técnicas impróprias de execução das tarefas de manutenção provoca desperdícios de tempo e energia. Uma análise de campo às atividades realizadas pelas equipas, quer sejam de produção ou de manutenção, permite identificar e propor soluções para eliminar desperdícios de movimentação.

Este tipo de desperdício diz respeito a movimentações desnecessárias que, quando eliminadas, permitem efetuar as mesmas atividades num menor espaço de tempo. Muitas vezes, na realização das atividades de manutenção são utilizados mais recursos do que necessário.

Um exemplo disso é a utilização excessiva de consumíveis como desengordurantes ou outros produtos. A identificação dos desperdícios presentes nas atividades de manutenção possibilita o estudo de soluções que permitam eliminar tais desperdícios. A identificação do desperdício é, portanto, o primeiro passo a tomar na adoção de uma filosofia *Lean*, seja ela aplicada aos processos produtivos, às atividades de manutenção, ou a qualquer outra área.

11.2. Manutenção LEAN

Segundo Smith (2004) [10], o Lean Maintenance (manutenção Lean, ou livre de desperdícios) deriva da filosofia TPM. O TPM, filosofia de gestão da manutenção introduzida por Nakajima no processo de melhoria da Toyota nos anos 70, tem como principal objetivo a otimização da fiabilidade e eficácia dos equipamentos industriais.

O TPM resulta da combinação efetuada por Nakajima entre teorias de manutenção preventiva e o conceito de qualidade total. Nakajima desenvolveu um indicador de desempenho global, que pode ser considerado um dos elementos chave do TPM, a Eficiência Global dos Equipamentos (OEE –). A Eficiência Global dos Equipamentos indica o rácio entre a produção efetiva e a *Overall Equipment Efficiency* produção ideal, da fábrica, da secção ou do equipamento que se pretende estudar (Levitt, J., 2005) [16]. Smith (2004) [10] afirma que a manutenção Lean corresponde à otimização das operações de manutenção preventiva que conjugam as atividades de manutenção planeadas e calendarizadas, através de práticas de Manutenção Produtiva Total (TPM), com o recurso a estratégias de manutenção desenvolvidas segundo uma lógica de decisão da manutenção centrada na fiabilidade, com a aplicação dos processos 5S, atividades semanais de melhoria contínua (*Kaizen*) e manutenção autónoma efetuada por técnicos de manutenção multi-disciplinados, tendo por base um sistema de ordens de trabalho e um sistema de gestão da manutenção computadorizado (CMMS).

Segundo a filosofia *Lean Maintenance*, os técnicos de manutenção devem ser apoiados pelo armazém de peças de substituição que, baseado nas ordens de requisição de material (MRO), fornece os materiais necessários à manutenção numa base *Just-In-Time* (JIT), bem como o apoio do grupo de engenharia da fiabilidade que analisa a raiz das causas de falhas (RCFA), assim como as próprias peças que falharam, de modo a futuramente atuar de forma mais eficaz e eficiente na raiz dos problemas.

O grupo de engenharia da fiabilidade é ainda responsável por efetuar análises da eficiência dos procedimentos de manutenção, análises à manutenção condicionada, bem como efetuar o rastreio da tendência e análise dos resultados de monitorização da condição dos equipamentos (Smith, 2004) [10]. A melhoria contínua do programa de gestão da manutenção exige uma atitude proactiva e um envolvimento, desde o início, da parte de todos os intervenientes na organização, devendo partir da gestão de topo para ser implementada com sucesso (Dhillon, B. S., 2002a) [17].

Segundo Dhillon, B. S. (2002a) [17], o processo de melhoria contínua do programa de gestão da manutenção exige a execução de 9 passos sequenciais:

- 1 – Identificar as fontes de desperdício, com recurso à análise de indicadores de desempenho e entrevistas às equipas de manutenção,
- 2 – Definir os objetivos da manutenção, com vista à eliminação dos desperdícios identificados no primeiro passo e à redefinição/melhoria de objetivos anteriores,
- 3 – Definir prioridades por ordem de poupanças geradas,
- 4 – Definir os Indicadores de desempenho para cada objetivo definido,
- 5 – Discutir e definir, com todos os intervenientes, planos e objetivos de manutenção preventiva de curto e longo-prazo,
- 6 – Implementar o plano de manutenção preventiva de curto-prazo,
- 7 – Elaborar relatórios periódicos relativos ao cumprimento dos objetivos de curto prazo traçados,
- 8 – Acompanhar continuamente este processo, efetuando uma revisão global no final de cada ano, comparando os resultados obtidos com os objetivos traçados,
- 9 – Renovar o plano de manutenção para o ano seguinte, tendo em conta os objetivos traçados a longo-prazo e os ajustamentos efetuados no plano anterior (a nível de ações, recursos, custos, etc.).

De forma simplista e resumida, a manutenção *Lean* é um pensamento *Lean* aplicado à Gestão da Manutenção. Este, procura, através da eliminação dos desperdícios, acrescentar valor à Gestão da Manutenção (Baptista, L.L., Dias, J.M e Couto, L., 2011) [35].

A implementação de um projeto de melhoria da gestão da manutenção conduzirá, segundo Santos, et al. (2006) [36], a uma melhoria da Eficiência Global dos Equipamentos (OEE). A adaptação da filosofia *Lean* à gestão da manutenção não é, normalmente, um processo fácil nem rápido, devido à resistência que o ser humano tende a apresentar em relação à mudança. A implementação desta, ou de qualquer outra filosofia, numa organização só faz sentido se a importância da sua adoção for compreendida pela gestão de topo, pois é esta que define o rumo a tomar e que têm o poder para decidir se devem, ou não, ser investidos esforços na implementação dessa metodologia.

A gestão de topo tem também, como autoridade superior nas empresas, a obrigação de incentivar e sensibilizar a restante organização para a importância da adoção dos novos métodos ou políticas de trabalho.

Para isso, pode promover ações de formação com objetivo de demonstrar aos seus colaboradores os benefícios da implementação desses novos métodos ou políticas de trabalho. A implementação de uma nova filosofia de gestão da manutenção é, pelo descrito anteriormente, um passo muito importante a dar pelas empresas industriais, não podendo, no entanto, ser visto como um passo único, ou seja, a adoção de uma filosofia *Lean Maintenance* pressupõe um processo de melhoria contínua, cujo sucesso de implementação depende do empenho de toda a organização, desde os operadores dos equipamentos até à gestão de topo.

11.3. Ferramentas LEAN

O pensamento *Lean*, como filosofia de gestão, tem por base um conjunto de ferramentas e técnicas de apoio à criação de valor e à eliminação de desperdícios. Desta forma, o pensamento *Lean* é uma filosofia permeável a propostas de melhoria, como a adoção de novas ferramentas que permitam a criação de maior valor e/ou a eliminação de desperdício. A implementação dos 5S, a adoção de eventos *Kaizen* (reuniões de melhoria contínua) semanais, a uniformização dos procedimentos de trabalho, a mudança rápida de ferramenta (SMED – *Single Minute Exchange Die*), o mapeamento dos processos (VSM – *Value Stream Mapping*), a criação de meios de controlo visuais dos processos ou a criação de um quadro de objetivos são apenas algumas das ferramentas utilizadas na adoção da filosofia *Lean*. Estas ferramentas contribuem para a otimização dos processos através da procura pela eliminação de todos os tipos de desperdício. Estas ferramentas, conceitos e padrões de trabalho *Lean* são, habitualmente aplicados à área da produção (*Lean Manufacturing*), podendo, no entanto, ser aplicados a qualquer outra área.

Cada atividade deve ser analisada de modo a identificar e eliminar as fontes de desperdício, reduzir as atividades não criadoras de valor, mas necessárias, e otimizar a segurança dos trabalhadores (Schmidt, J. e Lyle, D., 2010) [15].

A prática dos 5S, por exemplo, é uma filosofia que visa incorporar os valores de seletividade, organização, limpeza, uniformização e disciplina no local de trabalho. Este é um dos primeiros métodos utilizados nas empresas na adaptação da filosofia *Lean* aos seus processos (Bayo-Moriones, A., Bello-Pintado, A. e Cerio J. M. D, 2010) [37].

Esta é uma ferramenta organizacional que tem como objetivo a simplificação das áreas de trabalho, permitindo assim melhorar os processos, reduzir a área necessária à sua execução e a resolução de problemas de produtividade (Borris, 2006, p154) [38].

Oriundos do Japão, os 5S's significam, segundo Keller, P. A. (2001) [39]: Seiri (Seleção), Seiton (Organização), Seiso (Limpeza), Seiketsu (Uniformização) e Shitsuke (Disciplina).

Seiri (organização) - Verificar o material, as ferramentas e máquinas do local de trabalho e remover tudo o que for desnecessário.

Seiton (arrumação) – Organizar espaços no local de trabalho e definir locais de arrumação para o material e ferramentas com etiquetas de identificação (ajudas visuais). Esta preocupação permite que esteja tudo acessível e alcançável no mínimo espaço de tempo.

Seiso (limpeza) – Manter a área de trabalho, equipamento e máquinas limpas. É importante dividir o posto de trabalho e atribuir uma zona a cada elemento do grupo com o intuito de tornar tudo ordenado.

Seiketsu (normalização) – definir regras de arrumação e limpeza para cada local de trabalho, usar ajudas visuais e usar as mesmas ferramentas em todas áreas de trabalho para tornar mais fácil o seu uso pelos operadores.

Shitsuke (autodisciplina) – Manter a organização, a limpeza e rever o controlo visual. Desenvolver um sistema do tipo lista de verificação (*checklist*) e de ajudas visuais com o intuito da melhoria contínua.

Estas foram as cinco palavras que deram o nome à metodologia, mas atualmente existe 6S, que tem como principal função identificar e corrigir os perigos existentes. A filosofia ou cultura 5S é um grande benefício para as empresas, porque trata-se de um ponto de partida para influenciar as pessoas a serem mais cuidadosas e perfeccionistas pelo gosto do desempenho da sua função em ambientes organizados, gerando a redução de defeitos nos produtos, redução ou eliminação de desperdícios, redução de atrasos e de avarias (Pinto, 2009 e Lourindo et al., 2006) [40].

Uma prática utilizada para identificar a raiz das causas das falhas é denominada de 5Whys (os 5 Porquês). Esta é uma ferramenta que, como o próprio nome indica, procura

descobrir a razão da ocorrência dos problemas com a realização de cinco questões. A primeira questão é a mais vaga, define o objetivo a atingir, como “porque é que ocorreu o problema”. As questões seguintes são sucessivamente mais objetivas, até que na última questão é descoberta a raiz do problema. Segundo Schmidt J. G. e Lyle D. (2010) [15], o Sistema Produtivo da Toyota foi desenvolvido com a prática e evolução desta abordagem científica.

Ao responder a cinco questões, podemos chegar à verdadeira causa do problema, que muitas vezes está escondido por outros sintomas. Depois de encontrada a causa do problema é tempo de resolvê-la, recorrendo à metodologia PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), ou ciclo de *Deming* (Kahn M., 2003) [41], que tem por base um ciclo composto por quatro passos: *Plan* (Planear); *Do* (Executar); *Check* (Verificar) e *Act* (Atuar). O primeiro passo desta metodologia consiste em pegar na causa encontrada, responsável pela ocorrência do problema e propor uma solução para evitar a recorrência da mesma. O segundo passo a tomar é testar a solução proposta para a resolução do problema inicial e, no terceiro passo, verificar a sua eficácia.

Depois de analisada e verificada a eficácia da solução proposta, procura-se aperfeiçoá-la (quarto passo da metodologia PDCA). Esta é uma metodologia de melhoria contínua, como representado na figura 37.

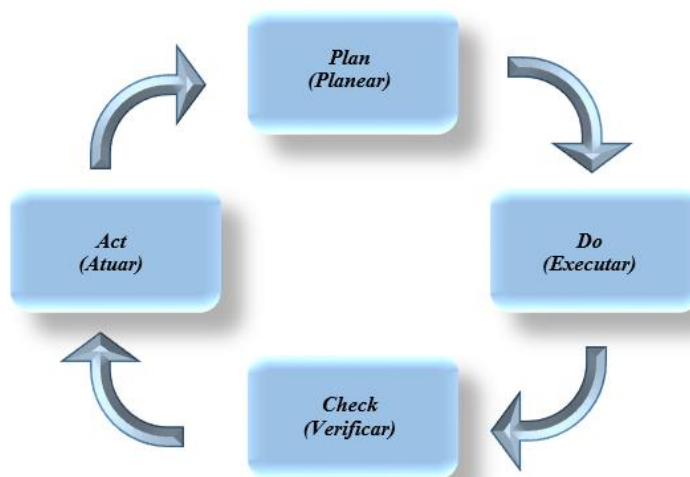


Figura 37 – Ciclo de *Deming* ou metodologia PDCA.

Com a aplicação destas metodologias é feita uma procura diária pela melhoria operacional dos sistemas, através da eliminação dos desperdícios. A utilização conjunta das metodologias *5Whys* e PDCA segue, portanto, os seguintes passos:

1. Identificação do problema,
2. Determinação da raiz do problema,
3. Definir as medidas a tomar para controlar a raiz dos problemas,
4. Implementar as medidas definidas,
5. Medir a eficácia das medidas implementadas,
6. Repetir o processo de resolução do problema se a causa original persistir.

11.3.1. Técnicas de Brainstorming

A ferramenta Brainstorming ou tempestade de ideias foi desenvolvida por Alex F. Osborn em 1939 [42]. Trata-se de uma ferramenta que está associada à criatividade, porque ajuda um grupo de pessoas a criar diversas ideias num curto espaço de tempo. Por isso, o objetivo principal da técnica é ampliar a corrente de ideias, com base na criatividade e na capacidade racional do grupo (Meireles, 2001 [43]; Silva e Flores, 2011) [44].

Na procura de soluções as ideias devem ser avaliadas por todos e nenhuma pode ser rejeitada ou criticada (Meireles, 2001) [43].

Esta ferramenta contém três fases.

- ✓ Na primeira fase são definidos os objetivo a atingir. É definida uma sequência para a apresentação das ideias e nesta fase não se discute as ideias.
- ✓ Na segunda fase as ideias são analisadas e os elementos do grupo devem esclarecer e debater todas as ideias apresentadas.
- ✓ Na terceira e última fase os elementos do grupo devem excluir as ideias semelhantes e criar novas a partir da união de algumas já existentes. Também podem recorrer a votações para chegar às ideias chave.

11.3.2. Fluxogramas

O fluxograma é uma ferramenta que tem como objetivo identificar o caminho ideal para os produtos ou serviços sempre com a finalidade de identificar os desvios. São usados símbolos no fluxograma para descrever e mapear um conjunto diversificado de etapas de um processo, de forma ordenada. Também permite identificar os erros, os

desperdícios, a produtividade, o tempo e capacidade do processo (Magalhães [45]; Silva e Flores, 2011) [46].

11.3.3. Diagrama de Causa e Efeito

O diagrama de causa e efeito, também designado por diagrama de Ishikawa ou diagrama de espinha de peixe foi desenvolvido pelo engenheiro japonês Dr. Kaoru Ishikawa, em 1943, na universidade de Tóquio. Começou por ser utilizado para explicar a um grupo de engenheiros da Kawasaki Steel Works como vários fatores poderiam ser ordenados e relacionados. Atualmente, esta ferramenta de controlo da qualidade, tem como finalidade explorar e identificar problemas específicos ou as causas possíveis de uma condição.

Segundo Morgado e Gomes (2012) [47], a ferramenta serve como guia para identificar as possíveis causas de um problema específico num determinado processo, ou seja, “permite apresentar a relação entre um efeito percebido e todas as possibilidades de causa que contribuem para o referido efeito”. Para elaborar um diagrama é necessário usar outra ferramenta, como por exemplo o brainstorming ou outra que envolva trabalho de equipa (Silva e Flores, 2011) [46]. Na figura 38 é possível verificar como a informação sobre o problema e a definição de causas possíveis está organizada.

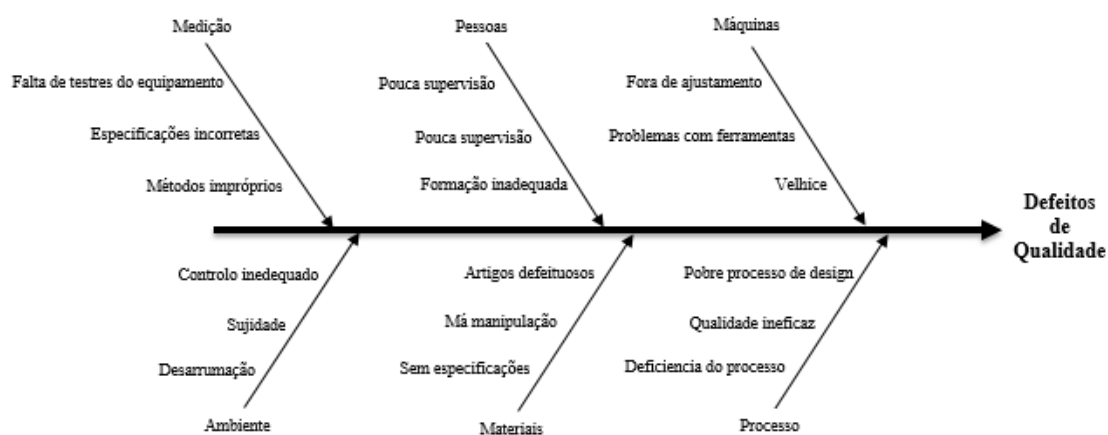


Figura 38 - Diagrama de Ishikawa aplicados a problemas da qualidade.

11.3.4. Mapa do Fluxo de Valor

O Mapa do Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping*) é uma das ferramentas mais utilizadas para analisar um conjunto de atividades que ocorrem desde a compra da matéria-prima até a entrega do produto final ao cliente (Lustosa et al., 2011) [48]. Trata-se de um método simples que pode ser aplicado frequentemente na procura da perfeição do sistema produtivo e no desenvolvimento do conceito *Kaizen*.

O Mapa do Fluxo de Valor facilita na identificação dos desperdícios existentes e permite desenhar a estratégia mais adequada para a sua eliminação ou redução (Bastos e Chaves, 2012) [49].

Assim, a ferramenta VSM é essencial, porque ajuda a visualizar os processos, a identificar desperdícios, ajuda a fornecer uma linguagem familiar para tratar os processos, a tornar as decisões visíveis para serem discutidas, mostrando a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material. Esta ferramenta ajuda imenso no processo de visualização de uma situação atual e na construção de uma situação futura (Lustosa et al., 2011) [48]. A figura 39 apresenta um exemplo de mapa de valor.

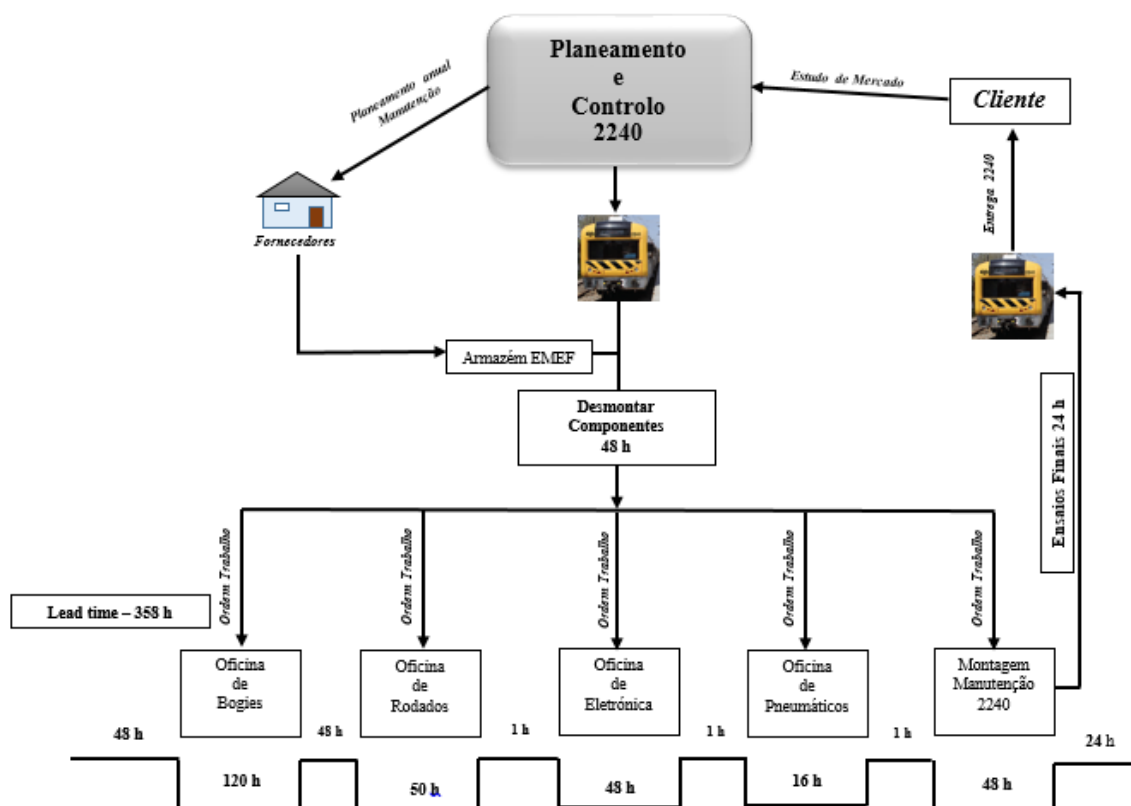


Figura 39 - Exemplo de mapa do fluxo de valor.

11.3.5. Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto foi desenvolvido pelo sociólogo e economista italiano, Vilfredo Pareto, em 1897, para estudar a distribuição de riqueza no século XIX no seu país.

Com o gráfico, Vilfredo Pareto, descobriu que a riqueza não estava a ser distribuída de maneira justa entre a população, porque dos 80% da riqueza, estaria 20% nas mãos da população (Magalhães [45]; e Silva e Flores, 2011 [46]).

Assim, esta ferramenta de controlo da qualidade foi aplicada à indústria para identificar o problema mais importante a partir do uso de diferentes critérios de medição, como o custo ou a frequência (Magalhães [45]; e Silva e Flores, 2011 [46]).

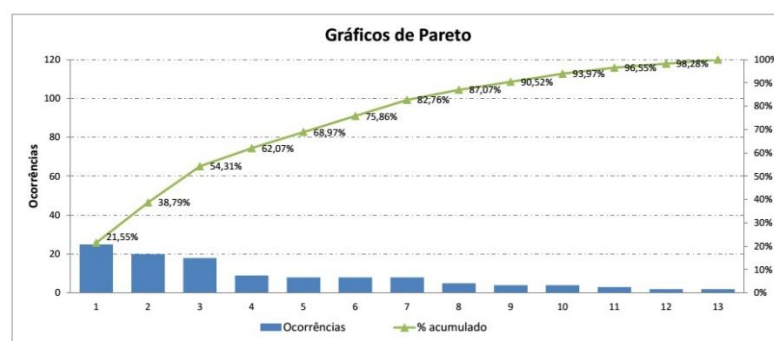


Figura 40 - Exemplo de um gráfico de Pareto aplicado à manutenção [50].

Segundo Morgado e Gomes (2012) [51], o gráfico permite determinar quais os problemas com maior prioridade a partir da identificação dos eventos com maior ocorrência. Na prática, o diagrama de Pareto apresenta-se como um gráfico de barras verticais e deve ser desenvolvido com base numa lista de verificações (Silva e Flores, 2011) [46]. Após a construção da ferramenta de análise de dados é comum considerar-se que as causas a atacar são os problemas com maior número de ocorrência.

Para Juliano Magalhães o diagrama tem como finalidade mostrar a importância de todas as condições, com o objetivo de escolher o “ponto de partida para a solução do problema, identificar a causa básica do problema e monitorar o sucesso”.

11.4. Áreas de Atuação da Gestão Lean Maintenance

Segundo Baptista, L.L., Dias, J.M e Couto, L. (2011) [35], existem diversos campos na gestão da manutenção que, funcionando eficientemente, podem ser a chave para o sucesso desta atividade. Os autores listam nove campos da gestão da manutenção que, quando corretamente definidos e desenvolvidos, permitem garantir uma gestão da manutenção eficaz e eficiente.

11.4.1. Política da Manutenção

A política de manutenção é um dos mais importantes elementos da gestão da manutenção. Esta é essencial para a continuidade das operações e para um entendimento claro do programa de gestão da manutenção.

11.4.2. Controlo do Material

A experiência indica que, em média, 30 a 40% dos custos diretos totais da manutenção são atribuídos aos custos dos materiais. A eficiência das equipas de manutenção depende largamente da eficiência da gestão dos materiais. O planeamento, a coordenação com as compras, com os fornecedores e uma boa gestão das peças de reserva podem ajudar a reduzir os problemas relacionados com os materiais.

11.4.3. Sistemas de Ordens de Trabalho

Uma ordem de trabalho autoriza e orienta um indivíduo, ou equipa, para a execução de uma dada tarefa. As ordens de trabalho bem definidas devem incluir todos os trabalhos de manutenção requeridos e realizados.

11.4.4. Registos dos Equipamentos

O registo dos equipamentos desempenha um papel fundamental na eficiência e eficácia na organização dos trabalhos de manutenção. Os registos são, habitualmente, agrupados em quatro categorias: a) obras de manutenção; b) custos de manutenção; c) inventário; d) documentação técnica.

a) O registo das obras de manutenção realizadas permite ter acesso ao histórico de intervenções realizadas ao longo da vida dos equipamentos, quer estas sejam de carácter corretivo ou preventivo.

b) A categoria dos custos de manutenção contém o perfil histórico, a acumulação do trabalho e os custos de manutenção, por equipamento.

c) No inventário deverão estar informações relativas aos equipamentos e respectivos componentes, tais como o custo e data da sua aquisição, o número de fabrico, fabricante, a sua localização nas instalações da empresa, entre outros.

d) Na documentação técnica deverão estar guardados os manuais de operação e serviço dos equipamentos, bem como as garantias e desenhos dos mesmos, entre outros.

11.4.5. Manutenção Preventiva e Corretiva

A manutenção preventiva tem como finalidade manter os equipamentos numa condição satisfatória, pré-estabelecida, através da sua inspeção e da correção de deficiências numa fase inicial. A fiabilidade dos equipamentos, o custo da operação de manutenção e a conformidade com os padrões de funcionamento estabelecidos constituem a exigência e âmbito da ação da manutenção preventiva.

11.4.6. Planeamento e Calendarização dos Trabalhos

Na gestão da manutenção, o planeamento dos trabalhos a executar é um elemento fundamental, uma vez que permite que outras tarefas, das quais depende a atividade de manutenção, sejam programadas e realizadas, tais como a aquisição de peças, ferramentas e materiais, a definição de métodos e sequências de trabalho, a coordenação com outros departamentos e ainda assegurar o cumprimento das regras de segurança. A calendarização da manutenção é de igual modo importante.

11.4.7. Controlo de Atrasos

Um dos fatores determinantes dentro da organização da manutenção é a quantidade e dimensão dos atrasos das atividades de manutenção. Identificar atrasos na realização das atividades de manutenção é um passo muito importante para que seja possível ajustar a capacidade de resposta à carga de trabalho. Identificar os atrasos é ainda importante no que respeita à tomada de decisões relativas ao recurso a horas extraordinárias, contratação, subcontratação, entre outros.

11.4.8. Sistema de Prioridades

A definição de prioridades dos trabalhos a executar é de extrema importância, uma vez que os recursos disponíveis para a manutenção podem não ser suficientes para dar resposta a todos os trabalhos exigidos num determinado espaço de tempo.

A definição das prioridades deve ter em conta fatores como a importância do equipamento em termos da implicação na disponibilidade total do sistema produtivo, o tipo de manutenção a efetuar, os prazos para execução dos mesmos e tendo em conta também o planeamento da produção, tentando minimizar as perdas causadas pela paragem.

11.4.9. Medição do Desempenho

A análise do desempenho das organizações de manutenção é também um fator muito importante, pois esta permitirá perceber qual o tempo de inatividade dos equipamentos, bem como identificar peculiaridades no comportamento operacional da organização e assim contribuir para a melhoria e desenvolvimento de planos de manutenção futuros.

11.5. Princípios da Gestão Lean Maintenance

A gestão da manutenção tem vindo a evoluir ao longo do tempo, tendo sido desenvolvidos vários princípios de gestão da manutenção. Associados à gestão *Lean* da manutenção foram desenvolvidos seis princípios considerados fundamentais, que devem ser aplicados sistematicamente de modo a atingir uma gestão da manutenção mais eficiente e eficaz (Baptista, L.L., Dias, J.M e Couto, L., 2011) [35].

- ✓ Máxima Produtividade dos recursos humanos envolvidos na manutenção, possível apenas com um sistema de instruções claras e sistemáticas (princípio de gestão científica formulado por Frederick W. Taylor no final do século XIX, mas mantém-se atualizado),
- ✓ Calendarização das Ações de Controlo, que permitam a deteção atempada das avarias, para que se possam preparar as intervenções,
- ✓ Registo das Ações de Controlo, para que se possam comparar os resultados obtidos com os objetivos traçados,
- ✓ Estrutura Organizacional Correta, que permita controlar as operações de manutenção e, assim, apoiar as equipas de manutenção,
- ✓ Responsabilização Individual dos Intervenientes no controlo dos trabalhos de manutenção executados. É da responsabilidade do departamento de manutenção desenvolver, implementar e dar suporte operacional para o planeamento e programação dos trabalhos,

- ✓ As tarefas de manutenção a realizar devem ser planeadas de forma a necessitarem dos mínimos recursos possíveis.

Na adoção de uma filosofia *Lean* de gestão da manutenção é portanto muito importante garantir a aplicação contínua destes princípios, pois somente dessa forma será possível obter uma gestão da manutenção mais eficiente e eficaz.

11.6. Método e Ferramentas KAIZEN LEAN

A indústria nacional atravessa um período de grandes mudanças com o aumento de preponderância dos mercados do Oriente, quer ao nível do consumo, quer ao nível da produção e desenvolvimento. Juntamente com esta mudança de paradigma veio a grave crise que atravessamos e que acelerou a necessidade de mudança neste setor na Europa.

É neste cenário que os princípios *Kaizen Lean* podem ajudar a atingir a tão desejada competitividade, e também ajudar o acesso ao capital necessário para investimentos. Com estas metodologias podemos reduzir o *lead-time*, aumentar a produtividade na produção, logística e serviços de apoio, reduzir os custos e também o *lead time* do desenvolvimento de produto.



Figura 41 - Significado de KAIZEN.

As ferramentas da produção *Lean* proporcionam, através da transformação cultural e simplificação dos processos, resultados ao nível da rapidez, custo e qualidade do serviço.

A produção *Lean* tem como objetivo fulcral a eliminação de desperdícios em todos os processos adjacentes à produção, com a pretensão de se diminuir custos e aumentar os índices de produtividade, não descurando os padrões de qualidade.

12. Análise de Fiabilidade das Automotoras UTE 2240

O principal objetivo do presente estudo consiste em determinar qual ou quais os bens reparáveis que mais contribuem para o decréscimo da fiabilidade do serviço prestado pela frota das automotoras UTE 2240. Nesse sentido, a principal fonte de informação baseia-se nas falhas registadas pela empresa ao nível operacional, que recaem sobre a sua alçada, tal como será explicado mais adiante. De forma a proceder-se à análise estatística da frota, começou-se por efetuar um levantamento do histórico das falhas através da consulta da plataforma de base de dados *InfoTec*. Concebida pela EMEF, esta plataforma permite a inserção das falhas no sistema de forma uniformizada, assim como a fácil consulta de informação técnica, de forma vertical a toda a estrutura da empresa.

Com o intuito de obter a modelação pretendida das falhas, foi necessário nesta fase inicial do estudo proceder a um exaustivo processo de recolha, interpretação e tratamento das falhas, visto que nem todos os dados se encontravam disponibilizados nos moldes pretendidos. Nesse sentido, foi necessário proceder para cada automotora, ao devido alinhamento entre a data das falhas, os quilómetros percorridos, o tipo de falha e o bem reparável em concreto onde esta foi registada.

Uma ocorrência pode ser definida como sendo toda a perturbação que ocorre durante o período de circulação, isto é, durante o serviço comercial. A título de exemplo, as ocorrências podem traduzir-se em atos de vandalismo, queda de pessoas à linha, falhas mecânicas/eletrónicas ou obras na linha. Por sua vez, um incidente pode ser definido como toda a ocorrência que implique socorro, supressão ou atraso da circulação do material circulante. Por outras palavras, pode afirmar-se que um incidente é a causa da paragem do material circulante.

Conhecidos ambos os conceitos, importa agora conhecer apenas as ocorrências e incidentes relacionadas diretamente com a manutenção, visto serem estas as que terão interesse para a EMEF em termos analíticos.

Uma vez conhecida toda a informação relevante referente às falhas é possível avançar para a análise estatística global da frota.

A nível de desenvolvimentos práticos, estes encontram-se divididos em duas grandes etapas. A primeira envolve como ponto de partida a criação de uma base de dados através da ferramenta *Microsoft Office Excel*, relativa às falhas imputáveis à empresa, ou seja, falhas diretamente relacionadas com a manutenção, registadas nas 48 automotoras UTE 2240 em funcionamento durante o período do estudo afetas ao POC. Com o intuito de facilitar a modelação dos dados, a base de dados inicial encontra-se repartida por automotora, existindo desse modo 48 bases de dados independentes. Entre diversas informações, estas incluem a data de ocorrência da falha, tempos de vida entre falhas e quilómetros percorridos das automotoras aquando da falha. Uma vez modelados os dados desta forma, é efetuada uma análise estatística individual e coletiva das automotoras, considerando como histórico de ocorrências o período temporal entre 1 de Janeiro de 2015 e 30 de Abril de 2016 referentes a 486 dias. Na referida análise estatística avalia-se a evolução da taxa de falhas ao longo do período temporal considerado, recorrendo-se ao teste de *Laplace*, assim como o cálculo dos valores do indicador de desempenho MTBF. Por outro lado, e agora num contexto de frota, procede-se à identificação de quais os sistemas críticos que mais falhas registam, por recurso à aplicação do Princípio de Pareto.

12.1. Evolução da Taxa de Falhas de cada Automotora UTE 2240

Com o propósito de analisar a evolução da sequência das falhas em cada uma das UTEs, isto é, se a taxa de falhas é constante ou apresenta tendência crescente ou decrescente, procede-se à aplicação do teste de *Laplace*. Para isso, importa desde logo conhecer a duração do ensaio para o qual se analisará a evolução das falhas.

Na figura 42 verifica-se o gráfico com o período temporal do estudo. Tendo em conta os quilómetros percorridos, pode-se iniciar a análise.

De modo a não tornar o capítulo demasiado extenso, até porque a análise estatística das diversas automotoras é análoga, apenas será aqui descrita a análise de duas automotoras que apresentam, respetivamente, uma taxa de falhas decrescente e constante.

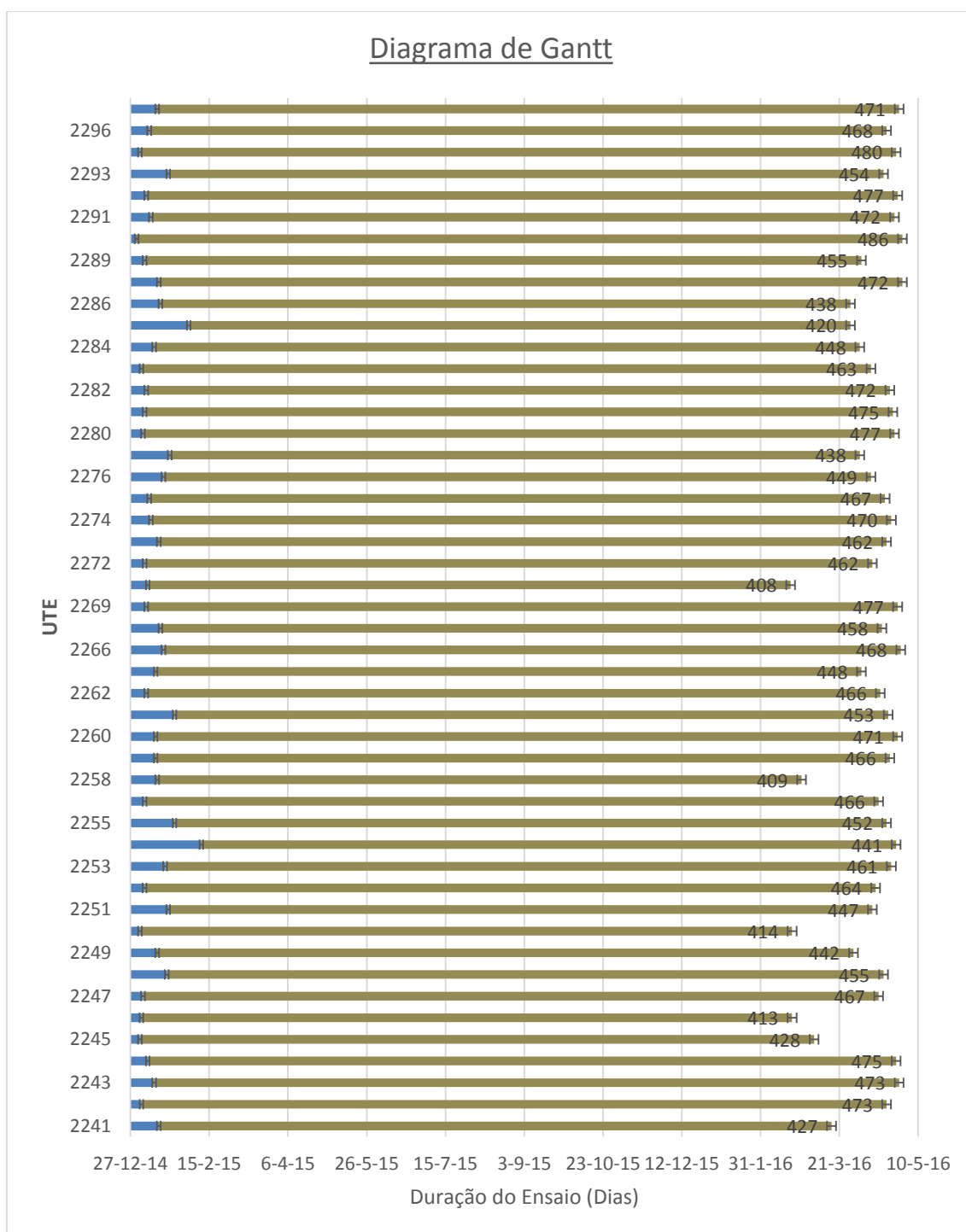


Figura 42 – Dias de duração do estudo.

Considerando a título de exemplo a UTE 2266, começou-se por determinar o valor de z_0 , com recurso à equação 19 e tendo em conta os dados recolhidos e seguidamente apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros para o cálculo do teste de Laplace da UTE 2266

UTE 2266		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	527346	-8,39	7,39
$T (Km)$	182929		
α	0,10		
n_f	34		

Uma vez que $|Z_0| = 8,39 > Z_{\frac{\alpha}{2}} = 7,39$, rejeita-se H_0 para um nível de significância de 10%. Desta forma, conclui-se que se está perante um PPNH com taxa decrescente, uma vez que o valor de Z_0 é negativo, aferindo-se portanto uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo entre falhas. Desde logo poderá afirmar-se que a automotora tem aumentado a sua fiabilidade ao longo do tempo, situação que demonstra que as ações de manutenção a que está sujeita têm impacto na melhoria da fiabilidade da mesma.

Para uma melhor interpretação do teste de Laplace, apresenta-se na figura 43 a análise gráfica da UTE 2266.

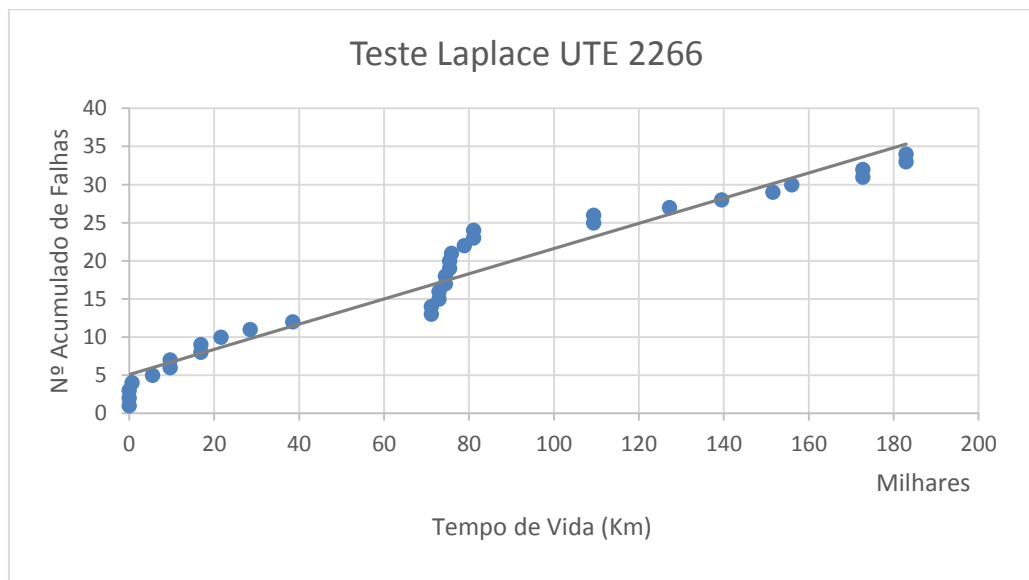


Figura 43 – Gráfico do teste de Laplace da UTE 2266.

Por observação ao gráfico da figura 43 constata-se que no início do estudo a UTE 2266 tem um maior número de falhas e que ao longo do estudo, esta tem uma tendência em diminuir.

Tal como referido anteriormente, os sistemas com taxa de falhas decrescente podem ser analisados de acordo com o Modelo de *Crow*, o qual permite obter um intervalo de confiança para o MTBF. Tal como representado na Tabela 4, através do recurso à equação 14, obteve-se uma estimativa para o MTBF. Posteriormente, com recurso às equações 15 e 16, obtiveram-se os valores dos limites do intervalo de confiança do MTBF calculado.

Tabela 4 – Dados para o cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2266.

UTE 2266			
$\hat{\beta}$	0,8932	$\theta_s (Km)$	9366
$\hat{\lambda}$	6,77E-04	$\theta (Km)$	6023
ρ	1,66E-04	$\theta_i (Km)$	4048

De acordo com o intervalo de confiança determinado, pode-se aferir que a UTE 2266 apresenta em 90% dos casos um MTBF mínimo garantido superior a 4048 Km.

Considerando agora o caso da UTE 2274, representativo de uma automotora que apresenta uma taxa de falhas constante, apresenta-se na Tabela 5 o valor de z_0 calculado através da Equação 19 para os dados recolhidos, que comprovam isso mesmo.

Tabela 5 - Parâmetros para o cálculo do teste de Laplace da UTE 2274.

UTE 2274		z_0	$z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1322349	-0,18	0,39
$T (Km)$	181288		
α	0,10		
n_f	15		

Uma vez que $|z_0| = 0,18 < z_{\frac{\alpha}{2}} = 0,39$, não se rejeita a hipótese nula para um nível de significância de 10%, ou seja, conclui-se que se está perante um PPH com taxa de falhas constante. Uma vez que o valor de z_0 é muito próximo de zero, constata-se que a taxa de falhas prenuncia um ligeiro crescimento.

De realçar que na prática, uma automotora com este tipo de taxa de falhas não beneficia com a substituição preventiva dos seus bens reparáveis. Nesse sentido, Dias *et*

al. (1999) [52] afirma mesmo que pelo facto de um bem reparável se comportar como um PPH não significa que os bens reparáveis que o constituem apresentem uma função de risco constante. Em termos de manutenção, esta questão é fulcral visto que apenas os bens reparáveis com função de risco crescente devem ser substituídos preventivamente. Para uma melhor interpretação do teste de *Laplace*, apresenta-se na figura 44 a análise gráfica da UTE 2274.

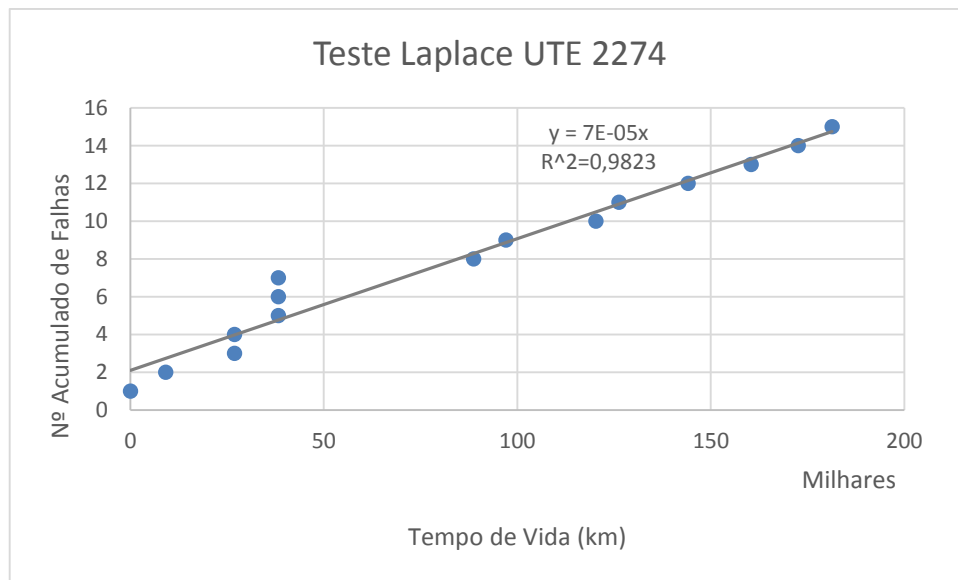


Figura 44 - Gráfico do teste de Laplace da UTE 2274.

Por observação do gráfico da figura 44, pode-se desde logo verificar que é possível ajustar uma reta ao conjunto de pontos apresentados apesar de haver 3 falhas à mesma quilometragem o que faz afastar os pontos da reta, comprovando-se assim a presença de um PPH. Com base no coeficiente de determinação R^2 , pode inclusive afirmar-se que se está perante um bom ajustamento, onde este explica cerca de 98% da variação, apresentando um erro de 2%.

Tal como visto anteriormente, o cálculo do MTBF e MTBF mínimo garantido seguem uma metodologia diferente nos casos em que as automotoras apresentam taxa de falhas constante. Desta forma, com recurso às equações 1 e 2, obtêm-se os valores de MTBF e MTBF mínimo garantido apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados para o cálculo do MTBF e MTBF mínimo garantido da UTE 2274.

UTE 2274					
		MTBF (Km)			MTBF mínimo garantido (Km)
$T (Km)$	181288	12086	α	0,10	9007
n_f	15		$\chi^2_{\alpha,2(n_f+1)}$	40,256	

De acordo com o limite inferior do intervalo de confiança determinado, pode aferir-se que a UTE 2274 apresenta em 90% dos casos um MTBF mínimo garantido superior a 9007 Km.

É de referir que as tabelas homólogas à tabela 3, 4, 5 e 6 e aos gráficos das figuras 43 e 44 encontram-se em anexo.

Porem, é possível observar na tabela 7 um resumo dos indicadores de desempenho para todas as automotoras UTE 2240 incluídas no estudo, nomeadamente o número de falhas, o valor de estatística do teste, a tendência da taxa de falhas, o MTBF e o MTBF mínimo garantido.

É de notar que todas as automotoras exceto a 2250, 2253 e a 2274 apresentam uma taxa de falhas decrescente.

Tendo em conta todos estes padrões, importa mencionar que os MTBF anteriormente calculados representam todas as ocorrências e que por sua vez algumas não provocam a imobilização das automotoras, sendo as mesmas reportadas para posterior intervenção.

É importante também referir que as unidades 2295, 2296 e 2297 efetuam serviço de Intercidades (IC), por isso apresentam uma quilometragem muito superior em relação às outras unidades contabilizando cerca do dobro.

Tabela 7 – Resumo dos indicadores de desempenho da frota.

UTE	n_f	Z_0	Taxas de Falhas		MTBF (Km)	MTBF mínimo garantido (Km)
			Decrescente	Constante		
2241	31	-4,90	X		4897	3188
2242	26	-4,37	X		6250	3944
2243	51	-8,74	X		4298	3086
2244	21	-2,19	X		6316	3783
2245	21	-1,85	X		5137	3077
2246	34	-5,34	X		6346	4264
2247	29	-4,73	X		5133	3311
2248	26	-4,06	X		6642	4191
2249	32	-5,51	X		6060	3945
2250	17	-0,76		X	10683	8089
2251	24	-3,27	X		5850	3586
2252	45	-7,83	X		3861	2722
2253	19	-0,32		X	7740	5940
2254	42	-6,95	X		4363	3010
2255	29	-4,26	X		6140	3960
2256	30	-4,26	X		4644	3023
2258	28	-3,86	X		6874	4406
2259	41	-7,08	X		3573	2465
2260	29	-4,50	X		4663	3241
2261	23	-2,85	X		7544	4625
2262	37	-6,54	X		2924	1965
2263	27	-6,15	X		9907	6301
2266	34	-8,39	X		6023	4048
2267	25	-4,05	X		8605	5378
2269	49	-8,73	X		3847	2762
2270	23	-2,43	X		6500	3984
2272	24	-3,81	X		7036	4313
2273	24	-3,48	X		6871	4212
2274	15	-0,18		X	12086	9007
2275	33	-5,55	X		6805	4573
2276	41	-7,68	X		5329	3677
2278	38	-6,85	X		3441	2375
2280	24	-3,99	X		5593	3429
2281	28	-4,81	X		5990	3840
2282	32	-5,78	X		6727	4380
2283	30	-5,13	X		4783	3114
2284	22	-3,10	X		6705	3413
2285	19	-2,10	X		6162	3654
2286	29	-4,87	X		5183	3602
2288	23	-3,77	X		11202	6867
2289	33	-6,22	X		7137	4796
2290	29	-5,04	X		7841	5057
2291	28	-4,82	X		7025	4433
2292	31	-5,91	X		5753	3745
2293	32	-6,55	X		5440	3542
2295	48	-9,93	X		5482	3936
2296	46	-9,52	X		6971	4942
2297	45	-9,39	X		7496	5315

12.2. Evolução da Taxa de Falhas da Frota Automotora UTE 2240

Observando ainda a Tabela 7, é possível comprovar que das 48 automotoras da frota das UTEs 2240 que constituem o estudo, 45 apresentam uma taxa de falhas constante, pelo que se pode afirmar de forma global, que a frota segue um PPNH. O resultado obtido a partir do teste de *Laplace*, representado na Tabela 8, comprova esta mesma afirmação, assim como a respetiva representação gráfica apresentada na figura 45.

Tabela 8 – Parâmetros para o teste de Laplace da frota.

Frota UTE 2240		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	60818580	-65,75	64,75
$T (Km)$	9135423		
α	0,10		
n_f	1467		

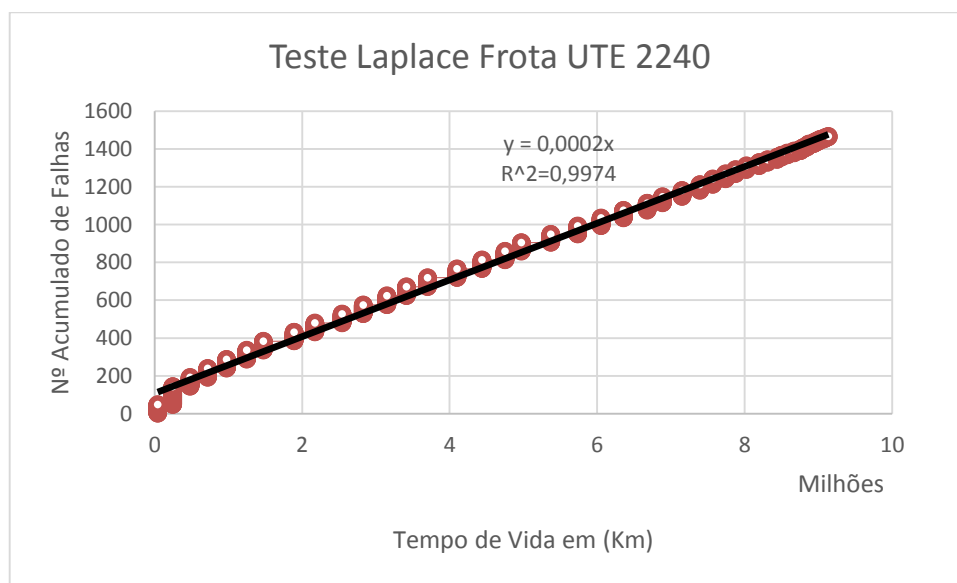


Figura 45 – Representação gráfica do teste de Laplace da frota UTE 2240

De referir que a representação gráfica do teste de *Laplace* apresentada no gráfico da figura 45 foi obtida por recurso às ocorrências de falhas em cada UTE que compõem a frota, encontrando-se estas representadas em forma gráfica em anexo. Este gráfico mostra com base na totalidade de Km percorridos pelas 48 UTEs, assim como na totalidade de falhas registadas, que é possível afirmar que o comportamento médio das UTEs 2240 traduz-se num MTBF médio de 6285 Km.

12.3. Análise de Avarias das Automotoras UTE 2240

Uma vez analisado o comportamento individual de todas as automotoras, interessa agora identificar num contexto global da frota, os bens reparáveis mais significativos, desde o mais abrangente ao mais pormenorizado.

Com o intuito de comprovar estes dados, decidiu-se recorrer a uma ferramenta amplamente utilizada na análise estatística da fiabilidade de sistemas, o diagrama de Pareto. Segundo Basu (2004) [53], através desta representação gráfica é possível identificar de forma prioritária os bens responsáveis pela ocorrência dos problemas, tratando-se estes neste caso de falhas. Em termos quantificáveis, o autor afirma que este princípio pode ser entendido como 80% das consequências advirem de 20% das causas. A análise de Pareto foi efetuada de forma sequencial, começando-se por identificar os bens críticos mais abrangentes – Grupos de sistemas. De entre estes, procedeu-se à identificação dos Sistemas, que por sua vez foram alvo de análise a fim de conhecer os Subsistemas mais significativos responsáveis pelas falhas.

De forma a conhecer o diagrama de Pareto representativo dos grupos de sistemas, procedeu-se, portanto, à recolha dos dados presentes na Tabela 9. Na primeira coluna encontram-se discriminados os grupos de sistemas onde se verificou a falha. Na segunda coluna encontra-se o número de falhas em cada sistema, na terceira e quarta coluna, encontram-se representados, respetivamente, os valores da frequência relativa e frequência relativa acumulada.

Tabela 9 – Número de falhas ocorridas por grupo de sistemas e respetivo percentual acumulado

Grupo de Sistemas	Nº Falhas	% Falhas	Percentual Acumulado
Portas	301	20,52%	20,52%
Circuito Tração	164	11,18%	31,70%
FIP	116	7,91%	39,60%
Interiores	113	7,70%	47,31%
Equipamento Freio	93	6,34%	53,65%
Climatização	92	6,27%	59,92%
Auxiliares	88	6,00%	65,92%
bogies	86	5,86%	71,78%
Vidros Janelas	69	4,70%	76,48%
Equipamento Produção Ar	56	3,82%	80,30%
Sinalização Iluminação	56	3,82%	84,12%
Sistema Vigilância	51	3,48%	87,59%
Estrutura	51	3,48%	91,07%
Mesa Cond. E Botões Inte. Comu.	44	3,00%	94,07%
Choque Tração	36	2,45%	96,52%
Alta Tensão	30	2,04%	98,57%
Proteção Contra Intempérie	13	0,89%	99,45%
Maquinas Elétricas Rotativas	6	0,41%	99,86%
Cablagem	2	0,14%	100%
TOTAL	1467	100%	

Da observação da Tabela 9, conclui-se que os grupos de sistemas que mais significativamente contribuem para as falhas registadas são as Portas, o Circuito de Tração e o Sistema FIP, com 581 falhas (301+164+116), representando dessa forma 39,6% da totalidade das 1467 falhas. Esta situação pode ser facilmente percecionada pelo diagrama de Pareto representado no gráfico da figura 46.

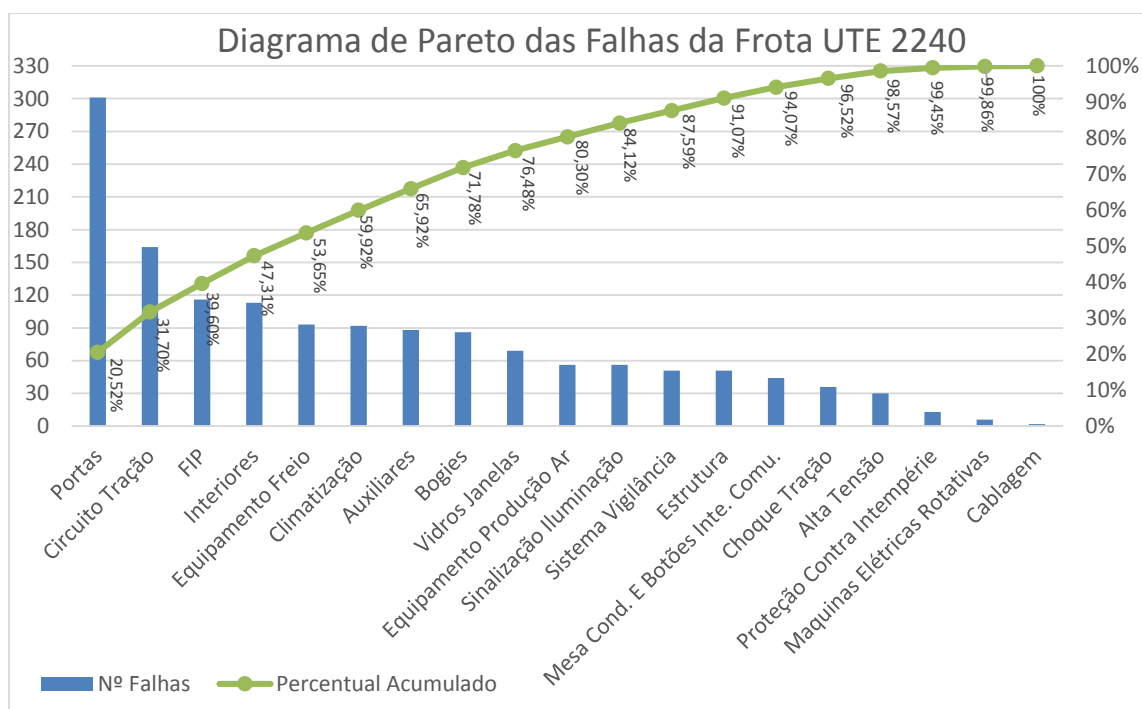


Figura 46 – Diagrama de Pareto dos grupos de sistemas das UTEs 2240.

Tendo agora em atenção apenas as 581 falhas correspondentes aos 3 grupos de sistemas mais críticos, procedeu-se novamente à aplicação do Princípio de Pareto, de forma a conhecer os sistemas mais críticos dentro destes, mostrados na tabela 10 e no gráfico de Pareto da figura 47.

Tabela 10 – Número de falhas ocorridas nos subsistemas e o respetivo percentual acumulado.

Subsistemas	Nº Falhas	% Falhas	Percentual Acumulado
Porta W.C.	136	23%	23%
Porta Acesso	84	15%	38%
Bloco Motor	70	12%	50%
Porta Intercomunicação	65	11%	61%
PMCF	60	10%	72%
Rede FIP	47	8%	80%
RIOM	37	6%	86%
Supervisor	23	4%	90%
Porta Cabina	16	3%	93%
DDU	11	2%	94%
MPTIS	11	2%	96%
PECU	10	2%	98%
CCUL_P	8	1%	99%
MPTCS	3	1%	100%
TOTAL	581	100%	

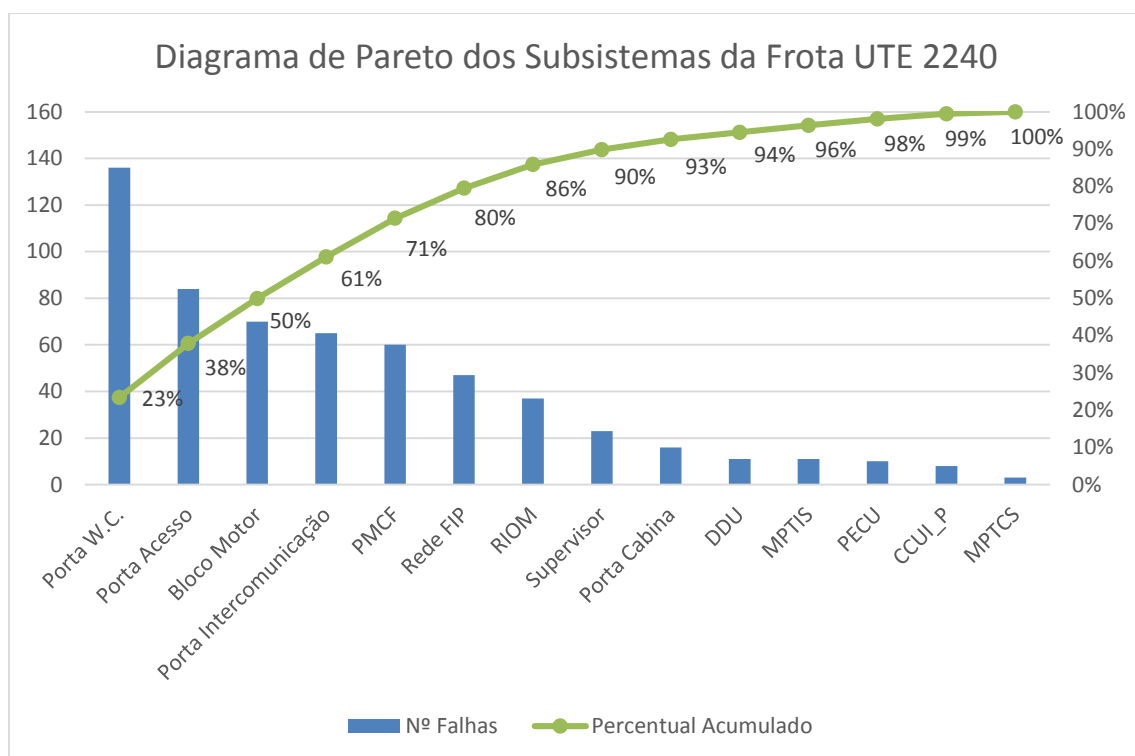


Figura 47 - Diagrama de Pareto dos subsistemas das UTEs 2240.

12.4. Estudo do MTBF sem as Falhas que não Provocam Imobilização

Das falhas anteriormente relatadas nem todas provocam a imobilização do comboio procedendo-se á sua reparação a quando da imobilização para a manutenção preventiva, logo para este estudo excluíram-se as mesmas de modo a efetuar um novo cálculo do MTBF.

É de referir que ao excluir algumas falhas deixa de se ter um cálculo real do funcionamento do sistema, no entanto consegue-se retirar dos resultados outras conclusões importantes no que diz respeito a estudos para a melhoria na manutenção das unidades levando assim ao aumento da fiabilidade das mesmas.

A tabela 11 mostra que ao serem retiradas as falhas do sistema que não provocam imobilização, nomeadamente, Vidros e Janelas, Portas e Climatização, o número de falhas reduz consideravelmente contabilizando-se assim 862 falhas.

Em consequência da retirada das falhas para cerca de metade o MTBF médio da Frota situa-se assim nos 12043 Km.

Tabela 11 - Dados do estudo do MTBF sem as falhas que não provocam imobilização.

UTE	n_f	Z_0	Taxas de Falhas		MTBF (Km)	MTBF mínimo garantido (Km)
			Decrescente	Constante		
2241	24	-3,09	X		7562	4635
2242	18	-1,98	X		6250	3594
2243	28	-4,26	X		5976	3830
2244	12	1,61		X	14793	10695
2245	12	2,05		X	14202	10268
2246	12	0,01		X	10422	7832
2247	20	-2,21	X		8602	5084
2248	19	-1,97	X		11455	6793
2249	18	-1,63	X		9264	5327
2250	9	3,57	X		20178	13975
2251	12	1,37		X	15447	11168
2252	23	-3,01	X		8495	5207
2253	19	-0,32		X	13369	9545
2254	20	-1,55	X		14181	8381
2255	21	-1,98	X		7571	4535
2256	17	-0,20		X	9623	7286
2258	18	-0,73		X	8975	6843
2259	29	-4,56	X		5056	3261
2260	21	-2,27	X		5221	3128
2261	10	2,80		X	17621	12404
2262	24	-3,52	X		4843	2969
2263	10	-0,80	X		18922	9007
2266	19	-5,26	X		12936	7671
2267	17	-1,55	X		11658	6563
2269	30	-5,15	X		7183	4676
2270	10	3,44		X	16560	11657
2272	8	3,20		X	23169	15747
2273	11	1,64		X	16517	11793
2274	8	4,03		X	22661	15403
2275	17	-1,01	X		12981	7334
2276	23	-3,76	X		12335	7561
2278	22	-3,09	X		5781	3498
2280	17	-1,80	X		9797	5516
2281	16	-1,17	X		8893	4936
2282	21	-2,98	X		11720	7020
2283	13	0,37		X	13705	10020
2284	18	-1,79	X		7826	4500
2285	11	1,42		X	15046	10742
2286	13	0,41		X	13284	9712
2288	12	0,28		X	16079	11625
2289	18	-2,30	X		18176	10451
2290	17	-1,54	X		16794	9489
2291	16	-1,17	X		15155	8411
2292	15	-1,35	X		12141	6617
2293	18	-3,02	X		9605	5523
2295	32	-7,26	X		8001	5217
2296	31	-6,93	X		9819	6392
2297	29	-6,55	X		12224	7958

12.5. Disponibilidade da Frota UTE 2240

Sendo a disponibilidade dos sistemas reparáveis consequência da sua fiabilidade e manutibilidade, a influência da fiabilidade surge através da taxa de falhas dos próprios sistemas, $\lambda(t)$ ou do tempo médio entre falhas (ou de bom funcionamento), MTBF.

Naturalmente, quanto maior for o número de falhas de um sistema reparável, com implicações na sua paragem, menor será a sua disponibilidade. Por outro lado, quanto menor for a sua manutibilidade, maior será o tempo necessário para a reposição da sua funcionalidade, o Tempo Técnico Médio de Reparação (MTTR); por conseguinte, menor será a sua disponibilidade em caso da falha implicar uma paragem na operação do sistema.

Tendo em conta o histórico de dados considerado para o presente estudo, começou-se portanto por determinar os indicadores de desempenho necessários ao cálculo da disponibilidade. Apesar destes indicadores se traduzirem no MTTR e MTBF, relacionados de acordo com a Equação 5, foi necessário proceder a uma adaptação dos mesmos, com o intuito de descrever o melhor possível a realidade prática.

Note-se que nesta fase não foi tido em conta a componente referente às visitas periódicas de manutenção considerando-se desse modo que as automotoras efetuam essas visitas nos períodos livres da rotação do serviço comercial. As intervenções que pela sua natureza não são da responsabilidade direta da reparadora também não foram consideradas, como por exemplo os VAN (Visita por Vandalismo).

Tabela 12 – Disponibilidade da frota UTE 2240.

Disponibilidade da Frota UTE 2240				
TTR (minutos)	Nº Falhas	MTTR	MTBF	Disponibilidade
760770	1467	518,589	6285	92%

Observando a tabela anterior, verifica-se portanto que a frota apresenta uma disponibilidade operacional de aproximadamente 92%, valor este, que se julga ser bastante bom, dada a atual situação analisada.

Julga-se igualmente que o tipo de análise aqui efetuada em termos operacionais representa para a empresa uma mais-valia, na medida em que representa uma análise prática.

13. Melhoria contínua

Segundo Pinto (2008) [54] o conceito de melhoria contínua tem sido como uma das formas mais eficazes para melhorar o desempenho e a qualidade das organizações.

É um sistema que pretende promover o trabalho em equipa e possibilita um crescente conhecimento através de uma constante troca de ideias e conhecimentos entre os seus elementos (Bastos e Chaves, 2012 [49]; Scotelano, 2007) [55]. Para o autor é um sistema que estimula a capacidade de agir das pessoas de forma a resolver problemas e desafios, visto que cada vez mais as empresas necessitam de trabalhar guiadas por objetivos e desempenhos principais. Mas para isto, a melhoria contínua requer o envolvimento de todas as pessoas da empresa para se obter, de forma sistemática e constante o aperfeiçoamento dos processos e dos produtos e a mudança na cultura da empresa e no planeamento da mesma (Scotelano, 2007) [55].

É importante criar uma equipa e escolher o seu líder que terá como princípio envolver e manter toda a equipa informada dos objetivos a alcançar. Este apoio é essencial para o sucesso na procura da melhoria contínua, mas também terá de existir a preocupação para a escolha do melhor método a ser aplicado em cada situação ou problema. Será essencial fazer um levantamento dos problemas, procurar as causas dos mesmos e definir soluções (Scotelano 2007) [55].

Lucianda (2010) [56], menciona que a melhoria contínua é como um processo virado para a inovação contínua da empresa e tem como objetivo melhorar o layout, melhorar a prática de trabalho e a qualidade do produto. Contudo, a inovação resulta a partir de um processo de aprendizagem dentro da empresa e a partir do conhecimento implícito das pessoas relacionadas com a melhoria. (Tanaka et al., 2012) [57]. Guimarães et al. (2011) [58] descrevem que a grande diferença entre a inovação e a melhoria contínua está na procura da perfeição, porque a melhoria contínua preocupa-se com o completo e contínuo aperfeiçoamento dos produtos e a inovação preocupa-se com os grandes progressos e com o crescimento rápido dos mesmos.

Para aumentar a qualidade, a rapidez dos processo, os custos, a flexibilidade para a mudança e a capacidade das empresas perceberem os seus clientes, é necessário adotar técnicas e ferramentas. Esta adoção de técnicas de melhoria contínua é a solução para produção com eficácia e eficiência, mas é necessário ter o conhecimento e perceber o porquê das suas utilizações (Scotelano, 2007) [55].

13.1. Valor

Valor pode ser definido como a quantia monetária estabelecida pelo cliente final, e só é significativo quando expresso em termos de produto específico (um bem ou um serviço, e por vezes até ambos). O valor é criado por quem produz, e do ponto de vista do cliente, é esta a função do produtor.

O cliente, por sua vez, espera a entrega das encomendas nas devidas quantidades, no tempo estipulado, com a qualidade definida, e ao preço combinado. Assim, é preciso fazer uma análise a toda a cadeia de valor de qualquer produto, e determinar quais as atividades ou ações que o cliente vai pagar, e quais as que ele não vai pagar.

13.2. Desperdícios

Explicado o conceito de “valor”, passamos para a próxima etapa, onde se tentará encontrar os “desperdícios”. Entende-se por “desperdícios” os pontos que serão alvos de possíveis melhorias.

Dentro das empresas, podemos considerar três tipos de atividades:

- ✓ Atividades de valor acrescentado;
- ✓ Atividade de valor não acrescentado mas necessária;
- ✓ Atividade de valor não acrescentado desnecessária.

Depois desta classificação de atividades, é importante compreender e identificar corretamente os vários tipos de atividades nos processos de produção. É de fácil percepção que as atividades de valor não acrescentado mas necessárias devem ser minimizadas, e as de valor não acrescentado desnecessárias devem ser eliminadas totalmente, caso seja possível.

Segundo (Ohno, 1978) [59], há sete tipos de “muda” que não acrescentam valor nenhum e a estes é acrescentado um oitavo: “Não ouvir os colaboradores”. São estes os grandes desperdícios que se pretendem minimizar, ou se possível suprimir:

- ✓ **Produção em excesso:** produção em excesso significa produzir mais do que as encomendas dos clientes. Desta forma, cria-se *stock* que não será imediatamente vendido, e sem garantia de que o será realmente, tornando-se num grande desperdício

quer de tempo, quer de mão-de-obra, de matéria-prima e até de espaço para armazenamento. O objetivo é produzir somente o que é pedido.

- ✓ **Tempo de espera:** as esperas aumentam o tempo de retenção que por vezes excede os tempos das operações efetuadas nas fábricas. Este desperdício acontece das mais diversas formas: por falta de material ou informações, mau planeamento, avarias, mudanças de máquinas, entre outras. A espera aumenta o lead-time, que significa o tempo que decorre desde o pedido do cliente até se efetuar a entrega.
- ✓ **Transporte de material:** o transporte de materiais é necessário, mas deve ser minimizado. Para se minimizar este desperdício deve começar-se por um bom planeamento do *layout*, ou caso não seja possível alterá-lo, reduzir as quantidades de lotes e minimizar a distância entre processos.
- ✓ **Inventário:** excesso de matéria-prima, produtos em processamento, ou produtos acabados são capitais empatados, sem movimentação, o que significa desperdício. Outro fator importante prende-se com o espaço, pois mais matéria-prima e mais produtos acabados precisam de ser armazenados, ocupando preciosos metros quadrados. Uma maneira de se reduzir este desperdício é trabalhar “*just-in-time*”.
- ✓ **Produção defeituosa:** produzir peças defeituosas causa dois desperdícios imediatos: tempo e matéria-prima. É necessário um grande controlo nesta área e uma atuação rápida, para evitar produções defeituosas e defeitos futuros. Quando por vezes se detetam erros, é necessário fazer triagens, o que implica novos desperdícios.
- ✓ **Nos movimentos:** todas as movimentações, quer mecânicas, quer humanas, que não estejam relacionadas diretamente com o aumento de valor do produto, são consideradas desperdício. No caso de movimentos mecânicos poderão ser más programações ou distâncias desapropriadas entre máquinas; no caso de movimentações humanas poderá ser por deslocações desnecessárias causadas pela falta de ergonomia no posto de trabalho, o que resulta em perdas de tempo no processo de produção, diminuindo a produtividade e podendo também diminuir a qualidade dos produtos.
- ✓ **Sobre processamento:** por vezes, algumas etapas estão demasiado complexas, com operações adjacentes mais do que as necessárias, o que origina método e máquinas mais complexas. A intenção é exatamente a oposta, onde se pretende processos simples e práticos.

- ✓ **Não usar a criatividade humana:** perder tempo, habilidades, melhorias, e oportunidades de aprendizagem por não se envolver ou não ouvir todos os colaboradores.



Figura 48 - Ilustração dos 8 desperdícios.

O que se pretende fazer na produção magra é construir um processo para fazer somente o que o próximo processo necessita e quando necessita. O objetivo é tentar ligar todos os processos desde o consumidor final até à matéria-prima - num fluxo regular sem retornos que gere o menor Lead Time, e a mais alta qualidade ao menor custo.

13.3. Melhoria no Espaço Oficial

13.3.1. Elevação de Veículos

O conceito de otimização e melhoria deve estar presente no dia-a-dia de cada empresa, reduzindo/evitando o desperdício, combatendo a ineficiência, minimizando os custos.

Existem tipicamente três grandes áreas alvo de processos de melhoria contínua: a eliminação do desperdício, arrumação e organização do posto de trabalho e a normalização de procedimentos. Convém referir que no contexto em que está inserido se entende por desperdício qualquer atividade sem valor acrescentado.

Uma das tarefas inseridas na manutenção preventiva e/ou corretiva é o levantamento de veículos de modo a poder substituir/reparar os *bogies* ou rodados. É relativamente a esta tarefa que surge uma necessidade de melhoria, tanto a nível do espaço

físico como a nível da documentação necessária para a execução. A figura 43 mostra o levantamento de um veículo.



Figura 49 - Levantamento de um veículo.

13.3.2. Identificação do Problema

Após uma análise ao local verificou-se alguns pontos a serem melhorados que serão referenciados:

- ✓ Falta de sinalização,
- ✓ Ferramentas não disponíveis no local de trabalho,
- ✓ Limpeza e arrumação do local de trabalho,
- ✓ Falta de documentação relativamente à execução da tarefa,
- ✓ Ponte rolante insuficiente.

13.3.3. Proposta de Resolução

De modo a resolver as questões anteriormente expostas foram propostas as seguintes ações.

✓ Falta de sinalização.

A sinalização de segurança desempenha um papel importante como forma de informar os trabalhadores dos vários riscos inerentes às suas atividades, conduzindo-os a atitudes preventivas e de proteção, reduzindo o risco de acidentes profissionais.

O espaço oficial deve estar bem referenciado mencionando onde e quais tarefas a serem executadas que deverão estar bem definidas e visíveis a todos os colaboradores. As propostas de resolução deste problema vêm ao encontro da definição e da necessidade de melhoria, seguidamente exposta:

- Traços no chão de modo a delinear o espaço da faixa de trabalho,
- Sinais indicativos de que é um local de levantamentos,
- Sinais de proibição de circulação de pessoas exteriores à tarefa,
- Sinais de obrigação do uso de EPIs.

A figura 44 mostra o dique de levantamentos, onde deverão ser efetuados os traços, bem como a parede onde deverão ser colocados todos os sinais inerentes à tarefa.



Figura 50 – Dique de levantamentos.

✓ Ferramentas não disponíveis no local de trabalho.

O tempo desperdiçado nas tarefas no que diz respeito à procura das ferramentas necessárias à execução das mesmas e que não acrescenta valor nenhum, poderá ser diminuído com a seguinte proposta:

- Armário no local, dotado com todo o tipo de ferramentas necessárias à execução da tarefa.

A figura 45 mostra um armário devoluto que se encontra no local de levantamentos que poderá ser usado para colocar todas as ferramentas para a execução da referida tarefa.



Figura 51 - Armário devoluto no local dos levantamentos.

✓ **Limpeza e arrumação do local de trabalho.**

A limpeza e arrumação do local de trabalho é um ponto muito importante que não deve ser esquecido. De modo a manter o local de trabalho limpo e arrumado serão expostas as seguintes propostas:

- Inserir na instrução de trabalho métodos que obriguem à limpeza do local de trabalho antes e depois da tarefa;
- Bancada de trabalho de suporte, de modo a apoiar nas tarefas executadas e não haver ferramentas espalhadas pelo chão. A bancada de suporte no local de trabalho poderá prevenir acidentes pois as ferramentas deixaram de estar espalhadas no chão.

✓ **Falta de documentação relativamente à execução da tarefa.**

A normalização das tarefas é uma prática presente num sistema RCM. Estas devem estar acessíveis e referenciadas de modo a que todos os colaboradores tenham acesso a qualquer hora à informação nelas contida. Para a execução de um trabalho, os

colaboradores devem fazer-se acompanhar das instruções de trabalho, bem como as especificações técnicas. Neste sentido, foram propostos os seguintes pontos:

- Instrução de trabalho de levantamento de veículos rebocados UTE – 2240,
- Instrução de trabalho de levantamento de veículos motores UTE – 2240,
- Instrução de trabalho de desmontagem/montagem de rodados UTE – 2240,
- Especificação técnica dos binários de aperto dos componentes da UTE – 2240.



Figura 52 - Binários de aperto de componentes.

✓ **Ponte rolante insuficiente.**

A ponte rolante montada no local onde é executada a tarefa de levantamento de veículos é uma ponte limitada a 5 toneladas apresentada na figura 48. Esta limitação obriga à deslocação dos *bogies* para outra oficina quando é necessário substituir componentes nos *bogies* motores pois estes pesam cerca de 10 toneladas. A falta de capacidade de levantamento implica uma deslocação para outra oficina, duplicando o tempo de execução da tarefa. É de referenciar que nesta reflexão não se tem em consideração a disponibilidade da outra oficina, pois se não houver disponibilidade o tempo pode aumentar consideravelmente. Posto isto, deveria ser considerada a substituição da mesma por uma de superior capacidade.



Figura 53 - Ponte rolante.

14. Conclusão

O sistema RCM assume grande importância e valor para a gestão da manutenção na EMEF. Com este método de gestão é possível aumentar o ciclo de vida útil dos componentes, recorrendo à análise sistemática do comportamento dos mesmos.

Com este conhecimento de comportamento podem efetuar-se estudos focados no aumento da vida dos componentes PEV, através de uma amostra que se considere razoável, efetuando-se uma análise de condição.

Neste estudo, a maior parte das tarefas assumem uma condição pró-ativa e aparecem na forma de manutenção sob condição, passando estas por controlar o estado dos componentes do sistema de forma fiável, expedita e não intrusiva, levando à sua substituição ou recuperação perto da falha funcional, aproveitando-se assim toda a sua vida potencial.

A documentação de todas as intervenções nomeadamente especificações técnicas e instruções de trabalho estão devidamente numeradas, o que facilita a sua consulta no decorrer das intervenções efetuadas.

A informação das intervenções não sistemáticas são compiladas e introduzidas no sistema para futura consulta e análise da falha.

Pode concluir-se que a gestão da manutenção é um objeto dinâmico no que diz respeito aos planos das intervenções, pois com o decorrer do tempo verifica-se que as considerações inicialmente observadas relativamente à manutenção, podem modificar com um melhor conhecimento do material no terreno.

A EMEF criou uma base de dados que contém os dados das intervenções. Para fazer o estudo da fiabilidade das automotoras foram necessários os dados das intervenções efetuadas no POC durante o período de 1 de Janeiro de 2015 a 30 de Abril de 2016.

Ao aceder a esta base de dados *Infotec* conclui-se que os dados não estão dispostos de forma a proceder uma análise desta natureza, pois foi necessária uma separação exaustiva dos mesmos, devido a estes se encontrarem muito dispersos.

O programa Excel foi de grande utilidade pois com esta quantidade de dados seria extremamente difícil proceder ao estudo da fiabilidade. Como anteriormente referido, o estudo foi efetuado a 48 automotoras da série UTE 2240 afetas ao POC em funcionamento

durante o período em causa. Para efetuar os cálculos foram criadas 48 bases de dados independentes.

Tendo em conta os dados assumidos relativamente às intervenções da frota de automotoras UTE 2240 afetas ao POC em funcionamento no período de tempo do estudo conclui-se que, estas apresentam uma taxa de avarias decrescente.

Ao analisar a tabela 9 pode constatar-se que existem três grupos de sistemas que somam cerca de 39,6% das ocorrências. De modo a diminuir estas incidências deveria ser proposta a introdução de manutenção preventiva, visto que alguns destes componentes estão sujeitos apenas a manutenção corretiva.

Em conclusão ao estudo do MTBF não contabilizando as avarias que não provocam a imobilização, consegue-se analisar imediatamente que o número de falhas reduziu para cerca de metade e consequentemente o MTBF médio da frota aumentou para cerca do dobro contando com 12043 Km. Este estudo tem por finalidade verificar que, se os problemas que provocam as falhas em causa fossem resolvidos ou minimizados ao máximo, o MTBF médio seria superior à quilometragem da imobilização mais leve (10000 Km).

No que diz respeito à disponibilidade da frota para obter um resultado mais real não foram assumidas as intervenções preventivas bem como todas as intervenções que pela sua natureza não são da responsabilidade da reparadora. Também se teve em consideração que nem todas as falhas das automotoras provocam a sua paragem, sendo estas resolvidas muitas vezes em períodos de imobilização para a manutenção preventiva.

Assumindo todas as falhas anteriormente relatadas, sendo que estas incidem diretamente no MTBF das automotoras, conclui-se que não tiveram muita severidade relativamente ao período de indisponibilidade das unidades, pois obteve-se um resultado de 92% de disponibilidade.

15. Referências

- [1] www.emef.pt.
- [2] *Viana, H. R. Garcia*; Planeamento e controlo da manutenção; *Qualitymark Editora* (2002).
- [3] *Block, Heinz., Geitner, Fred*; Machinery Failure Analysis and Troubleshooting; *ed. Gulf Publishing Company*, (1990).
- [4] *Davies, A.*; Management Guide to Condition Monitoring in Manufacture; *University of Wales, College of Cardiff*, (1990).
- [5] *Scheffer, C., & Girdhar, P*; Practical machinery vibration analysis & predictive maintenance (1st ed.); *Oxford: ELSIVIER*, (2004).
- [6] *Mobley, R. K*; An introduction to predictive maintenance; *USA: Elsevier Science*, (2002).
- [7] Norma AFNOR FDX60-000 de 2002.
- [8] *Dias, J.*; Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Elétrica. (Dissertação de Doutoramento); *Apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa*, (2002).
- [9] *Ascher, H. e Feingold; H.* Repairable system reliability, modeling, inference, misconceptions and their causes (Vol. 7); *New York: Marcel Dekker*, (1984).
- [10] *Smith, R. e Hawkins, B.*; *Lean Maintenance. Reduce costs, Improve Quality and increase market share.* *Oxford, UK: Elsevier Butterworth–Heinemann*, (2004).
- [11] *Wang, P e Coit, D. W.*; Repairable Systems Reliability Trend Tests and Evaluation; *New Jersey, Rutgers*, (2004).
- [12] *Marques, S. G.*; Manutenção Industrial e Custo do Ciclo de Vida – Extração Oleaginosas. (Dissertação de Mestrado); *Disponível na base de dados RUN (Repositório da Universidade Nova)*, (2009).
- [13] *O'Connor, P. D. T.*; Practical Reliability Engineering. (3ª Ed.); *England, John Wiley & Sons, Lda.*, (1994).

- [14] Mobley, R. K.; Maintenance Fundamentals. (2^a Ed.); Oxford, UK: Elsevier Butterworth–Heinemann, (2004).
- [15] Schmidt, J. e Lyle, D.; Lean Integration: An integration factory approach to business agility. Massachusetts; USA: Informatics Corporation, (2010).
- [16] Levitt, J.; Managing factory maintenance. (2^a ed.); New York, USA: Industrial Press Inc., (2005).
- [17] Dhillon, B. S.; Engineering and technology management tools and applications; Norwood, Massachusetts: Artech House, Inc., (2002a).
- [18] Assis, R.; Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção: Fiabilidade e Manutibilidade (1 ed.) (pp. 3-24), Lisboa, Coimbra e Porto: LIDEL, Lda., (2004).
- [19] Glade, T., Albini, P., Francés, F.; The Use of Historical Data in Natural Hazard Assessments ((pp. 220), Dordrecht, Netherland: Kluwer Academic, (2001).
- [20] Allison, Paul D.; Survival Analysis Using SAS (2 ed.) (pp. 324), Cary, USA: SAS Institute, (2010).
- [21] Klein, J. P. & Moeschberger, M. L.; Survival Analysis: Techniques for Censored and Truncated Data (2 ed.), New York: Springer Science, (2003).
- [22] Ryan, T. P.; Modern Engineering Statistics ((pp. 609), Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, (2007).
- [23] Dias, J. A. M.; Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Elétrica, Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, (2002).
- [24] Feldman, R. M. & Valdez-Flores, C.; Applied Probability and Stochastic Processes (2 ed.) (pp. 397), London, New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (2010).
- [25] Dodson, B.; The Weibull Analysis Handbook (2 ed.) (pp. 167), Milwaukee, Wisconsin: American Society for Quality, (2006).
- [26] Saleh, J. H. & Castet, J.; Spacecraft Reliability and Multi-State Failures ((pp. 216), United Kingdom: John Wiley & Sons, (2011).

- [27] *O'Connor, P.*; Practical Reliability Engineering (3 ed.), *Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, (1991).*
- [28] *Gupta, A. K., Zeng, W., Wu, Y.*; Probability and Statistical Models ((pp. 267), *London: Springer Science, (2010).*
- [29] *Ascher, H. & Feingold, H.*; Repairable Systems Reliability: Modeling, Inference, Misconceptions and Their Causes (Vol. 7), *New York: Marcel Dekker, (1984).*
- [30] *Ansell, J. I. & Phillips, M. J.*; Practical Methods for Reliability Data Analysis ((pp. 240), *New York: Oxford University, (1994).*
- [31] *Dhillon, B. S.*; Applied Reliability and Quality; *Fundamentals, methods and procedures. London, Springer – Verlag, (2007a).*
- [32] *Dhillon, B. S.*; Mining Equipment Reliability, maintainability and safety; *London: Springer – Verlag; (2008).*
- [33] *Alstom*; Manual de Equipamentos Pneumáticos Volume 2; Maio 2010; SI.2240.809.02.
- [34] *Lean Enterprise Institute*; Lean Lexicon: a graphical glossary for Lean Thinkers; (*4^a ed.*), (2008).
- [35] *Baptista, L.L., Dias, J.M e Couto, L.*; Lean Maintenance - Aplicabilidade em PME's; *Tomar, 11º Congresso Nacional de Manutenção, 5 e 6 de Maio de 2011.*
- [36] *Santos, et al.*; Improving Production With Lean Thinking. Hoboken; *New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., (2006).*
- [37] *Bayo-Moriones, A., Bello-Pintado, A. e Cerio J. M. D.*; 5S use in manufacturing plants: contextual factors and impact on operating performance. International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 27 No. 2, 2010, pp. 217-230; *Emerald Group Publishing Limited, (2010).*
- [38] *Borris, S.*; Total Productive Maintenance - Proven strategies and techniques to keep equipment running at peak efficiency; *New York: McGraw-Hill, (2006).*
- [39] *Keller, P. A.*; Recent trends in six sigma; *Tucson: Quality America, Inc., (2001).*

- [40] *Pinto, J.*; “Pensamento Lean - A filosofia das organizações vencedoras”; *Lidel Edição Técnica, Lda.*, (2009).
- [41] *Kahn, M.*; Gerenciamento de projetos ambientais: Riscos e conflitos; *Brasil, Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais*, (2003).
- [42] Alex F. Osborn em 1939.
- [43] *Meireles, M.*; “Ferramentas Administrativas para Identificar, Observar e Analisar Problemas”; *Organizações com foco no cliente, Editora Arte e Ciência*, (2001).
- [44] *Silva, L. e Flores, D.*; “Gestão da Qualidade em Arquivos: Ferramenta”. Programas e Métodos – III”; *SBA – Simpósio Baiano de Arquivologia*, (2011).
- [45] *Magalhães, M. J.*; “As 7 Ferramentas da Qualidade – Modelo de Gestão: Qualidade e Produtividade”.
- [46] *Silva, L. e Flores, D.*; “Gestão da Qualidade em Arquivos: Ferramenta”. Programas e Métodos – III”; *SBA – Simpósio Baiano de Arquivologia*, (2011).
- [47] *Morgado, A. e Gomes, E.*; “Compêndio de Administração”; *Elsevier Editora Lda.*, (2012).
- [48] *Lustosa, L., Mesquita M., Quelhas, O. e Oliveira, R.*; “Planeamento e Controle da Produção”; *Elsevier Editora Lda.*, (2011).
- [49] *Bastos, B. e Chaves, C.*; “Aplicação de Lean Manufacturing em uma Linha de Produção de uma Empresa do Setor Automotivo”, (2012).
- [50] <http://koeso.com.br/2013/11/ferramentas-da-qualidade-grafico-de-pareto/>.
- [51] *Morgado, A. e Gomes, E.*; “Compêndio de Administração”; *Elsevier Editora Lda.*, (2012).
- [52] *Dias, J. A. M., Pereira, Z. L., Leitão, A. F.*; Sistemas Reparáveis: Modelos de Fiabilidade, Artigo apresentado na Conferência: Segurança, Fiabilidade e Análise de Avarias, *Escola Naval do Alfeite, Almada*, (1999).
- [53] *Basu, R.*; Implementing Quality ((pp. 313), Bedford Row, London: *Thomson Learning*, (2004).

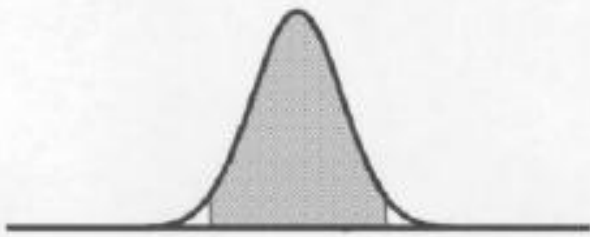
- [54] *Pinto, J.*; “Lean Thinking, Introdução ao pensamento magro – Community Lean Thinking”; (2008).
- [55] *Scotelano, S. Laice*; “Implementation of the Kaizen Philosophy and a Research about its Dissemination in an Automobilistic Industry”; *Revista da FAE, Curitiba, Vol.10, N.2*, (2007). *J. e Singh, H.*; “*Kaizen Philosophy: A Review of Literature*”, (2009).
- [56] *Lucinda, M.*; “Qualidade - Fundamentos e Práticas”; *BRASPORT Livros e Multimídia Lda.*, (2010).
- [57] *Tanaka, W., Muniz, J. e Neto, A.*; “Fatores críticos para implantação de projetos de melhoria contínua segundo líderes e consultores industriais”; *Revista Eletrônica Sistemas e Gestão, pp.103-121*, (2012).
- [58] *Guimarães, J., Severo, A., Eliana, A. e Dorion, E.*, “Inovação no processo e melhoria contínua em uma indústria de plásticos”, (2011).
- [59] *Ohno, Taiichi*; “Toyota Production System, Beyond Large-Scale Production”; *Lean Enterprise Brasil*, (1978).

Anexos

Anexo A – Tabelas de Distribuição

Tabela 1.A – Modelo de Crow. Teste Limitado por Tempo.

Modelo de Crow. Teste limitado por Tempo
(Intervalo de confiança)



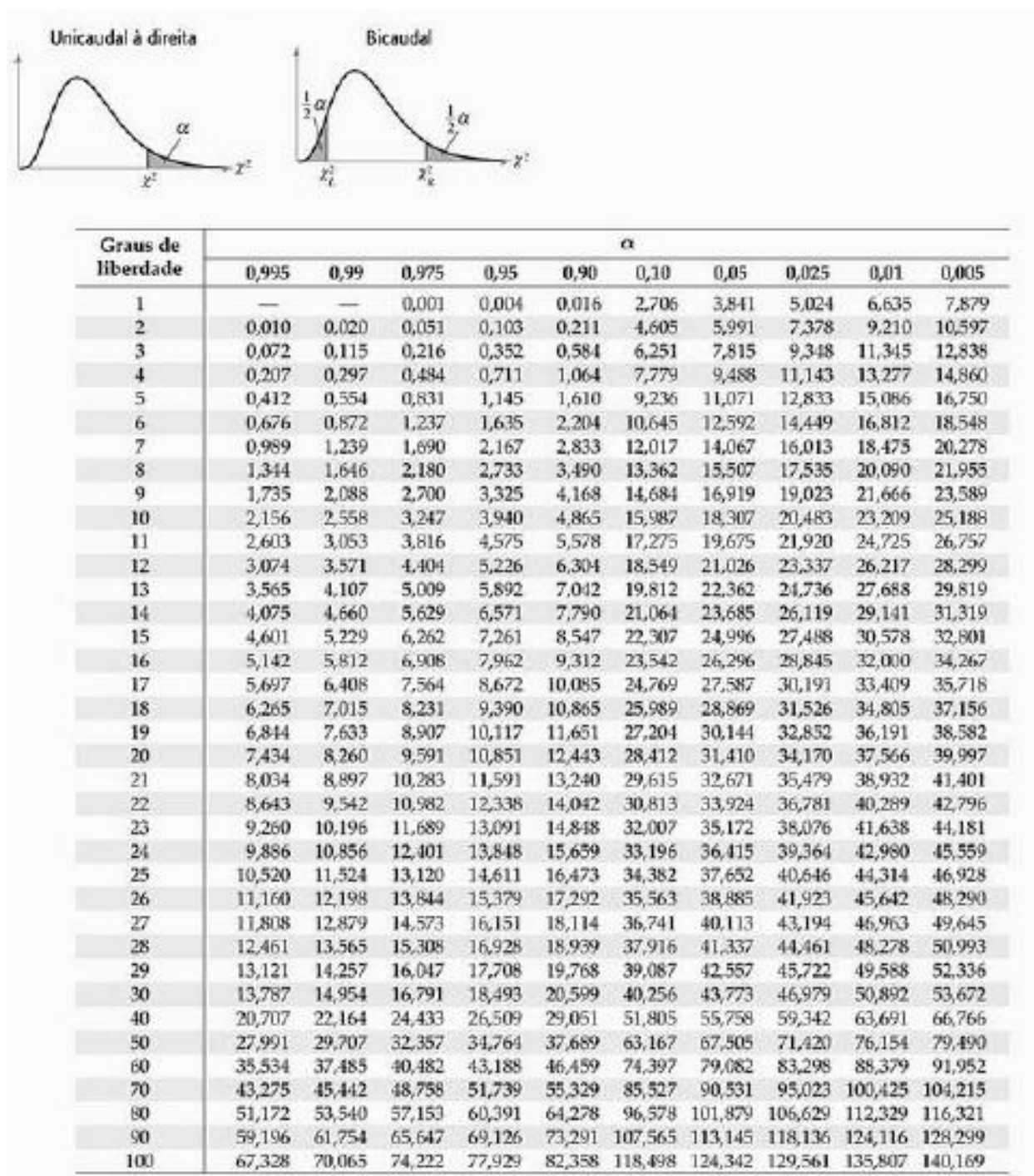
n	CONFIDENCE COEFFICIENT							
	.90		.95		.99		.99	
	π_1	π_2	π_1	π_2	π_1	π_2	π_1	π_2
2	.261	16.655	.260	30.661	.153	70.654	.124	102.655
3	.333	6.326	.263	9.736	.217	14.552	.174	24.103
4	.385	4.243	.312	5.947	.262	8.093	.245	11.811
5	.426	3.336	.352	4.517	.300	5.862	.250	8.043
6	.459	2.915	.385	3.764	.331	4.738	.280	6.254
7	.487	2.616	.412	3.299	.358	4.051	.305	5.216
8	.511	2.407	.436	2.981	.382	3.603	.328	4.539
9	.531	2.254	.457	2.750	.403	3.285	.349	4.064
10	.549	2.138	.476	2.575	.421	3.042	.367	3.712
11	.565	2.041	.492	2.436	.438	2.852	.384	3.441
12	.579	1.965	.507	2.324	.453	2.699	.399	3.226
13	.592	1.901	.521	2.232	.467	2.574	.413	3.050
14	.604	1.846	.533	2.153	.480	2.468	.426	2.904
15	.614	1.800	.545	2.087	.492	2.379	.438	2.781
16	.624	1.759	.556	2.029	.503	2.302	.449	2.675
17	.633	1.723	.565	1.978	.513	2.235	.460	2.584
18	.642	1.692	.575	1.933	.523	2.176	.470	2.503
19	.650	1.663	.583	1.893	.532	2.123	.479	2.432
20	.657	1.638	.591	1.858	.540	2.075	.488	2.369
21	.664	1.615	.599	1.825	.548	2.031	.495	2.313
22	.670	1.594	.606	1.796	.556	1.995	.504	2.261
23	.676	1.574	.613	1.769	.563	1.961	.511	2.215
24	.682	1.557	.619	1.745	.570	1.929	.518	2.173
25	.687	1.540	.625	1.722	.576	1.900	.525	2.134
26	.692	1.525	.631	1.701	.582	1.873	.531	2.098
27	.697	1.511	.636	1.682	.588	1.848	.537	2.066
28	.702	1.498	.641	1.664	.594	1.825	.543	2.035
29	.706	1.486	.646	1.647	.599	1.803	.549	2.006
30	.711	1.475	.651	1.631	.604	1.783	.554	1.980
35	.723	1.427	.672	1.555	.627	1.699	.579	1.870
40	.745	1.380	.690	1.515	.646	1.635	.599	1.788
45	.758	1.361	.705	1.476	.662	1.585	.617	1.723
50	.769	1.337	.718	1.443	.676	1.544	.632	1.671
60	.787	1.300	.739	1.393	.700	1.481	.657	1.591
70	.801	1.272	.755	1.355	.718	1.435	.676	1.533
80	.813	1.251	.769	1.328	.734	1.399	.695	1.488
100	.831	1.219	.791	1.266	.758	1.347	.722	1.423

Tabela 2.A – Distribuição Normal. Pontos Percentuais.

DISTRIBUIÇÃO NORMAL PONTOS PERCENTUAIS										
Z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-4,1	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99999	0,99999
-4,0	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
-3,9	0,99995	0,99995	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99997	0,99997
-3,8	0,99993	0,99993	0,99993	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994	0,99995	0,99995	0,99995
-3,7	0,99989	0,99990	0,99990	0,99990	0,99991	0,99991	0,99992	0,99992	0,99992	0,99992
-3,6	0,99984	0,99985	0,99985	0,99986	0,99986	0,99987	0,99987	0,99988	0,99988	0,99989
-3,5	0,99977	0,99978	0,99978	0,99979	0,99980	0,99981	0,99981	0,99982	0,99983	0,99983
-3,4	0,99966	0,99968	0,99969	0,99970	0,99971	0,99972	0,99973	0,99974	0,99975	0,99976
-3,3	0,99952	0,99953	0,99955	0,99957	0,99958	0,99960	0,99961	0,99962	0,99964	0,99965
-3,2	0,99931	0,99934	0,99936	0,99938	0,99940	0,99942	0,99944	0,99946	0,99948	0,99950
-3,1	0,99903	0,99906	0,99910	0,99913	0,99916	0,99918	0,99921	0,99924	0,99926	0,99927
-3,0	0,99865	0,99869	0,99874	0,99878	0,99882	0,99886	0,99889	0,99893	0,99896	0,99900
-2,9	0,99813	0,99817	0,99825	0,99831	0,99836	0,99841	0,99846	0,99851	0,99856	0,99861
-2,8	0,99744	0,99752	0,99760	0,99767	0,99774	0,99781	0,99788	0,99795	0,99801	0,99807
-2,7	0,99665	0,99668	0,99672	0,99676	0,99680	0,99684	0,99688	0,99692	0,99696	0,99700
-2,6	0,99593	0,99595	0,99598	0,99601	0,99604	0,99607	0,99610	0,99613	0,99616	0,99619
-2,5	0,99520	0,99522	0,99524	0,99526	0,99528	0,99530	0,99532	0,99534	0,99536	0,99538
-2,4	0,99449	0,99451	0,99453	0,99455	0,99457	0,99459	0,99461	0,99463	0,99465	0,99467
-2,3	0,99370	0,99372	0,99374	0,99376	0,99378	0,99380	0,99382	0,99384	0,99386	0,99388
-2,2	0,99272	0,99274	0,99276	0,99278	0,99280	0,99282	0,99284	0,99286	0,99288	0,99290
-2,1	0,99165	0,99167	0,99169	0,99171	0,99173	0,99175	0,99177	0,99179	0,99181	0,99183
-2,0	0,99060	0,99062	0,99064	0,99066	0,99068	0,99070	0,99072	0,99074	0,99076	0,99078
-1,9	0,98930	0,98932	0,98934	0,98936	0,98938	0,98940	0,98942	0,98944	0,98946	0,98948
-1,8	0,98793	0,98795	0,98797	0,98799	0,98801	0,98803	0,98805	0,98807	0,98809	0,98811
-1,7	0,98640	0,98642	0,98644	0,98646	0,98648	0,98650	0,98652	0,98654	0,98656	0,98658
-1,6	0,98480	0,98482	0,98484	0,98486	0,98488	0,98490	0,98492	0,98494	0,98496	0,98498
-1,5	0,98300	0,98302	0,98304	0,98306	0,98308	0,98310	0,98312	0,98314	0,98316	0,98318
-1,4	0,98110	0,98112	0,98114	0,98116	0,98118	0,98120	0,98122	0,98124	0,98126	0,98128
-1,3	0,97890	0,97892	0,97894	0,97896	0,97898	0,97900	0,97902	0,97904	0,97906	0,97908
-1,2	0,97660	0,97662	0,97664	0,97666	0,97668	0,97670	0,97672	0,97674	0,97676	0,97678
-1,1	0,97400	0,97402	0,97404	0,97406	0,97408	0,97410	0,97412	0,97414	0,97416	0,97418
-1,0	0,97130	0,97132	0,97134	0,97136	0,97138	0,97140	0,97142	0,97144	0,97146	0,97148
-0,9	0,96850	0,96852	0,96854	0,96856	0,96858	0,96860	0,96862	0,96864	0,96866	0,96868
-0,8	0,96560	0,96562	0,96564	0,96566	0,96568	0,96570	0,96572	0,96574	0,96576	0,96578
-0,7	0,96250	0,96252	0,96254	0,96256	0,96258	0,96260	0,96262	0,96264	0,96266	0,96268
-0,6	0,95930	0,95932	0,95934	0,95936	0,95938	0,95940	0,95942	0,95944	0,95946	0,95948
-0,5	0,95600	0,95602	0,95604	0,95606	0,95608	0,95610	0,95612	0,95614	0,95616	0,95618
-0,4	0,95260	0,95262	0,95264	0,95266	0,95268	0,95270	0,95272	0,95274	0,95276	0,95278
-0,3	0,94900	0,94902	0,94904	0,94906	0,94908	0,94910	0,94912	0,94914	0,94916	0,94918
-0,2	0,94500	0,94502	0,94504	0,94506	0,94508	0,94510	0,94512	0,94514	0,94516	0,94518
-0,1	0,94060	0,94062	0,94064	0,94066	0,94068	0,94070	0,94072	0,94074	0,94076	0,94078
0,0	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000

$S(x) = 1 - F(x) = P(X > x)$

Tabela 3.A – Distribuição Qui-Quadrado.



Anexo B – Tabelas e Gráficos do Cálculo da Fiabilidade

Tabela 1.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2241.

UTE 2241		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1280472	-4,90	3,90
$T (Km)$	167956		
α	0,10		
n_f	31		

Tabela 2.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2242.

UTE 2242		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1373331	-4,37	3,37
$T (Km)$	209003		
α	0,10		
n_f	26		

Tabela 3.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2243.

UTE 2243		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1399868	-8,74	7,74
$T (Km)$	186840		
α	0,10		
n_f	51		

Tabela 4.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2244.

UTE 2244		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1350721	-2,19	1,20
$T (Km)$	177514		
α	0,10		
n_f	21		

Tabela 5.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2245.

UTE 2245		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1372417	-1,85	0,86
$T (Km)$	170426		
α	0,10		
n_f	21		

Tabela 6.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2246.

UTE 2246		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1336588	-5,34	4,34
$T (Km)$	166759		
α	0,10		
n_f	34		

Tabela 7.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2247.

UTE 2247		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1339813	-4,73	3,73
$T (Km)$	187498		
α	0,10		
n_f	29		

Tabela 8.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2248.

UTE 2248		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1331981	-4,06	3,06
$T (Km)$	189571		
α	0,10		
n_f	26		

Tabela 9.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2249.

UTE 2249		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1289304	-5,51	4,51
$T (Km)$	184008		
α	0,10		
n_f	32		

Tabela 10.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2250.

UTE 2250		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1378523	-0,76	0,01
$T (Km)$	181604		
α	0,10		
n_f	17		

Tabela 11.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2251.

UTE 2251		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1366592	-3,27	2,27
$T (Km)$	18561		
α	0,10		
n_f	24		

Tabela 12.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2252.

UTE 2252		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1351845	-7,83	6,83
$T (Km)$	184338		
α	0,10		
n_f	45		

Tabela 13.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2253.

UTE 2253		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1338627	-0,32	0,36
$T (Km)$	147057		
α	0,10		
n_f	19		

Tabela 14.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2254.

UTE 2254		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1340354	-6,95	5,95
$T (Km)$	167457		
α	0,10		
n_f	42		

Tabela 15.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2255.

UTE 2255		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1402100	-4,26	3,26
$T (Km)$	177900		
α	0,10		
n_f	29		

Tabela 16.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2256.

UTE 2256		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1351644	-4,26	3,26
$T (Km)$	163586		
α	0,10		
n_f	30		

Tabela 17.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2258.

UTE 2258		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1310146	-3,86	2,86
$T (Km)$	161546		
α	0,10		
n_f	28		

Tabela 18.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2259.

UTE 2259		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1342078	-7,08	6,08
$T (Km)$	180981		
α	0,10		
n_f	41		

Tabela 19.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2260.

UTE 2260		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1288367	-4,50	3,50
$T (Km)$	171747		
α	0,10		
n_f	29		

Tabela 20.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2261.

UTE 2261		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1331094	-2,85	1,85
$T (Km)$	176205		
α	0,10		
n_f	23		

Tabela 21.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2262.

UTE 2262		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1320056	-6,54	5,54
$T (Km)$	187937		
α	0,10		
n_f	37		

Tabela 22.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2263.

UTE 2263		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	733805	-6,15	5,15
$T (Km)$	171784		
α	0,10		
n_f	27		

Tabela 23.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2267.

UTE 2267		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1276578	-4,05	3,05
$T (Km)$	191735		
α	0,10		
n_f	25		

Tabela 24.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2269.

UTE 2269		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1290270	-8,73	7,73
$T (Km)$	188079		
α	0,10		
n_f	49		

Tabela 25.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2270.

UTE 2270		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1348054	-2,43	1,43
$T (Km)$	165596		
α	0,10		
n_f	23		

Tabela 26.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2272.

UTE 2272		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1225768	-3,81	2,81
$T (Km)$	185351		
α	0,10		
n_f	24		

Tabela 27.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2273.

UTE 2273		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1285420	-3,48	2,48
$T (Km)$	181687		
α	0,10		
n_f	24		

Tabela 28.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2275.

UTE 2275		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1277492	-5,55	4,55
$T (Km)$	174926		
α	0,10		
n_f	33		

Tabela 29.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2276.

UTE 2276		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1292759	-7,68	6,68
$T (Km)$	205358		
α	0,10		
n_f	41		

Tabela 30.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2278.

UTE 2278		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1262344	-6,85	5,85
$T (Km)$	185184		
α	0,10		
n_f	38		

Tabela 31.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2280.

UTE 2280		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1246701	-3,99	2,99
$T (Km)$	196264		
α	0,10		
n_f	24		

Tabela 32.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2281.

UTE 2281		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1288455	-4,81	3,81
$T (Km)$	193648		
α	0,10		
n_f	28		

Tabela 33.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2282.

UTE 2282		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1239387	-5,78	4,78
$T (Km)$	189001		
α	0,10		
n_f	32		

Tabela 34.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2283.

UTE 2283		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1226465	-5,13	4,13
$T (Km)$	178165		
α	0,10		
n_f	30		

Tabela 35.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2284.

UTE 2284		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1220982	-3,10	2,10
$T (Km)$	179455		
α	0,10		
n_f	22		

Tabela 36.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2285.

UTE 2285		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1135842	2,10	1,11
$T (Km)$	165501		
α	0,10		
n_f	19		

Tabela 37.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2286.

UTE 2286		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1196486	-4,87	3,87
$T (Km)$	172688		
α	0,10		
n_f	29		

Tabela 38.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2288.

UTE 2288		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1211776	-3,77	2,77
$T (Km)$	192951		
α	0,10		
n_f	23		

Tabela 39.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2289.

UTE 2289		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1184454	-6,22	5,22
$T (Km)$	191479		
α	0,10		
n_f	33		

Tabela 40.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2290.

UTE 2290		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1243851	-5,04	4,04
$T (Km)$	186682		
α	0,10		
n_f	29		

Tabela 41.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2291.

UTE 2291		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1201327	-4,82	3,82
$T (Km)$	180811		
α	0,10		
n_f	28		

Tabela 42.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2292.

UTE 2292		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1209685	-5,91	4,91
$T (Km)$	201805		
α	0,10		
n_f	31		

Tabela 43.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2293.

UTE 2293		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	985473	-6,55	5,55
$T (Km)$	185711		
α	0,10		
n_f	32		

Tabela 44.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2295.

UTE 2295		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1446594	-9,93	8,93
$T (Km)$	349651		
α	0,10		
n_f	48		

Tabela 45.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2296.

UTE 2296		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1366810	-9,52	8,52
$T (Km)$	313107		
α	0,10		
n_f	46		

Tabela 46.B – Parâmetros para o Teste de Laplace da UTE 2297.

UTE 2297		Z_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$
$\sum T_i (Km)$	1376186	-9,39	8,39
$T (Km)$	319293		
α	0,10		
n_f	45		

Tabela 47.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2241.

UTE 2241			
$\hat{\beta}$	1,106	$\theta_s (Km)$	7987
$\hat{\lambda}$	5,136E-05	$\theta (Km)$	4897
ρ	2,041E-4	$\theta_i (Km)$	3188

Tabela 48.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2242.

UTE 2242			
$\hat{\beta}$	1,301	$\theta_s (Km)$	10631
$\hat{\lambda}$	3,125E-06	$\theta (Km)$	6250
ρ	1,6E-04	$\theta_i (Km)$	3944

Tabela 49.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2243.

UTE 2243			
$\hat{\beta}$	0,936	$\theta_s (Km)$	5650
$\hat{\lambda}$	5,959E-04	$\theta (Km)$	3915
ρ	2,554E-04	$\theta_i (Km)$	2811

Tabela 50.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2244.

UTE 2244			
$\hat{\beta}$	1,338	$\theta_s (Km)$	11741
$\hat{\lambda}$	1,980E-06	$\theta (Km)$	6316
ρ	1,583E-04	$\theta_i (Km)$	3783

Tabela 51.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2245.

UTE 2245			
$\hat{\beta}$	1,580	$\theta_s (Km)$	9549
$\hat{\lambda}$	1,140E-07	$\theta (Km)$	5137
ρ	1,947E-4	$\theta_i (Km)$	3077

Tabela 52.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2246.

UTE 2246			
$\hat{\beta}$	0,773	$\theta_s (Km)$	9868
$\hat{\lambda}$	3,129E-03	$\theta (Km)$	6346
ρ	1,576E-4	$\theta_i (Km)$	4264

Tabela 53.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2247.

UTE 2247			
$\hat{\beta}$	1,2596	$\theta_s (Km)$	8248
$\hat{\lambda}$	6,613E-6	$\theta (Km)$	5133
ρ	1,948E-04	$\theta_i (Km)$	3311

Tabela 54.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2248.

UTE 2248			
$\hat{\beta}$	1,098	$\theta_s (Km)$	11298
$\hat{\lambda}$	4,179E-05	$\theta (Km)$	6642
ρ	1,506E-04	$\theta_i (Km)$	4191

Tabela 55.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2249.

UTE 2249			
$\hat{\beta}$	0,95	$\theta_s (Km)$	9884
$\hat{\lambda}$	3,233E-04	$\theta (Km)$	6060
ρ	1,650E-04	$\theta_i (Km)$	3945

Tabela 56.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2250.

UTE 2250					
		MTBF (Km)			MTBF mínimo garantido (Km)
$T\ (Km)$	181604	10683	α	0,10	8089
n_f	17		$\chi^2_{\alpha,2(n_f+1)}$	44,903	

Tabela 57.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2251.

UTE 2251			
$\hat{\beta}$	1,32	$\theta_s (Km)$	10208
$\hat{\lambda}$	2,66E-06	$\theta (Km)$	5850
ρ	1,71E-04	$\theta_i (Km)$	3586

Tabela 58.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2252.

UTE 2252			
$\hat{\beta}$	1,061	$\theta_s (Km)$	5699
$\hat{\lambda}$	1,166E-04	$\theta (Km)$	3861
ρ	2,59E-04	$\theta_i (Km)$	2722

Tabela 59.B – Dados para o Cálculo do MTBF e MTBF mínimo garantido da UTE 2274.

UTE 2253					
		MTBF (Km)			MTBF mínimo garantido (Km)
$T\ (Km)$	147057	7740	α	0,10	5940
n_f	19		$\chi^2_{\alpha,2(n_f+1)}$	49,513	

Tabela 60.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2254.

UTE 2254			
$\hat{\beta}$	0,914	$\theta_s (Km)$	6610
$\hat{\lambda}$	7,068E-04	$\theta (Km)$	4363
ρ	2,29E-04	$\theta_i (Km)$	3010

Tabela 61.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2255.

UTE 2255			
$\hat{\beta}$	0,9992	$\theta_s (Km)$	10713
$\hat{\lambda}$	1,646E-04	$\theta (Km)$	6140
ρ	1,63E-04	$\theta_i (Km)$	3960

Tabela 62.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2256.

UTE 2256			
$\hat{\beta}$	1,1742	$\theta_s (Km)$	7574
$\hat{\lambda}$	2,267E-05	$\theta (Km)$	4644
ρ	2,15E-04	$\theta_i (Km)$	3023

Tabela 63.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2258.

UTE 2258			
$\hat{\beta}$	0,8394	$\theta_s (Km)$	11438
$\hat{\lambda}$	1,190E-3	$\theta (Km)$	6874
ρ	1,45E-04	$\theta_i (Km)$	4406

Tabela 64.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2259.

UTE 2259			
$\hat{\beta}$	1,2354	$\theta_s (Km)$	5413
$\hat{\lambda}$	1,31E-05	$\theta (Km)$	3573
ρ	2,8E-04	$\theta_i (Km)$	2465

Tabela 65.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2260.

UTE 2260			
$\hat{\beta}$	1,27	$\theta_s (Km)$	7494
$\hat{\lambda}$	6,521E-06	$\theta (Km)$	4663
ρ	2,14E-04	$\theta_i (Km)$	3241

Tabela 66.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2261.

UTE 2261			
$\hat{\beta}$	1,0155	$\theta_s (Km)$	13346
$\hat{\lambda}$	1,083E-04	$\theta (Km)$	7544
ρ	1,33E-04	$\theta_i (Km)$	4625

Tabela 67.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2262.

UTE 2262			
$\hat{\beta}$	1,737	$\theta_s (Km)$	4547
$\hat{\lambda}$	2,548E-08	$\theta (Km)$	2924
ρ	3,42E-04	$\theta_i (Km)$	1965

Tabela 68.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2263.

UTE 2263			
$\hat{\beta}$	0,6422	$\theta_s (Km)$	16664
$\hat{\lambda}$	1,174E-02	$\theta (Km)$	9907
ρ	1,01E-04	$\theta_i (Km)$	6301

Tabela 69.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2267.

UTE 2267			
$\hat{\beta}$	0,8913	$\theta_s (Km)$	14818
$\hat{\lambda}$	4,893E-04	$\theta (Km)$	8605
ρ	1,16E-04	$\theta_i (Km)$	5378

Tabela 70.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2269.

UTE 2269			
$\hat{\beta}$	0,9977	$\theta_s (Km)$	5551
$\hat{\lambda}$	2,678E-04	$\theta (Km)$	3847
ρ	2,60E-04	$\theta_i (Km)$	2762

Tabela 71.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2270.

UTE 2270			
$\hat{\beta}$	1,1077	$\theta_s (Km)$	11498
$\hat{\lambda}$	3,807E-05	$\theta (Km)$	6500
ρ	1,54E-04	$\theta_i (Km)$	3984

Tabela 72.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2272.

UTE 2272			
$\hat{\beta}$	1,0976	$\theta_s (Km)$	12279
$\hat{\lambda}$	3,965E-05	$\theta (Km)$	7036
ρ	1,42E-04	$\theta_i (Km)$	4313

Tabela 73.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2273.

UTE 2273			
$\hat{\beta}$	1,1018	$\theta_s (Km)$	11989
$\hat{\lambda}$	3,85E-05	$\theta (Km)$	6871
ρ	1,46E-04	$\theta_i (Km)$	4212

Tabela 74.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2275.

UTE 2275			
$\hat{\beta}$	0,7790	$\theta_s (Km)$	10582
$\hat{\lambda}$	2,719E-03	$\theta (Km)$	6805
ρ	1,47E-04	$\theta_i (Km)$	4573

Tabela 75.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2276.

UTE 2276			
$\hat{\beta}$	0,9399	$\theta_s (Km)$	8074
$\hat{\lambda}$	4,167E-04	$\theta (Km)$	5329
ρ	1,88E-04	$\theta_i (Km)$	3677

Tabela 76.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2278.

UTE 2278			
$\hat{\beta}$	1,4161	$\theta_s (Km)$	5214
$\hat{\lambda}$	1,320E-06	$\theta (Km)$	3441
ρ	2,91E-04	$\theta_i (Km)$	2375

Tabela 77.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2280.

UTE 2280			
$\hat{\beta}$	1,4620	$\theta_s (Km)$	9760
$\hat{\lambda}$	4,385E-07	$\theta (Km)$	5593
ρ	1,79E-04	$\theta_i (Km)$	3429

Tabela 78.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2281.

UTE 2281			
$\hat{\beta}$	1,1546	$\theta_s (Km)$	9968
$\hat{\lambda}$	2,203E-05	$\theta (Km)$	5990
ρ	1,67E-04	$\theta_i (Km)$	3840

Tabela 79.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2282.

UTE 2282			
$\hat{\beta}$	0,8779	$\theta_s (Km)$	10972
$\hat{\lambda}$	7,460E-04	$\theta (Km)$	6727
ρ	1,49E-04	$\theta_i (Km)$	4380

Tabela 80.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2283.

UTE 2283			
$\hat{\beta}$	1,2415	$\theta_s (Km)$	78024783
$\hat{\lambda}$	9,078E-06	$\theta (Km)$	3114
ρ	2,09E-04	$\theta_i (Km)$	

Tabela 81.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2284.

UTE 2284			
$\hat{\beta}$	1,2166	$\theta_s (Km)$	12055
$\hat{\lambda}$	8,919E-06	$\theta (Km)$	6705
ρ	1,49E-04	$\theta_i (Km)$	3413

Tabela 82.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2285.

UTE 2285			
$\hat{\beta}$	1,4137	$\theta_s (Km)$	12225
$\hat{\lambda}$	7,96E-07	$\theta (Km)$	6324
ρ	1,62E-04	$\theta_i (Km)$	3750

Tabela 83.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2286.

UTE 2286			
$\hat{\beta}$	1,1489	$\theta_s (Km)$	8537
$\hat{\lambda}$	2,789E-05	$\theta (Km)$	5183
ρ	1,93E-04	$\theta_i (Km)$	3602

Tabela 84.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2288.

UTE 2288			
$\hat{\beta}$	0,7489	$\theta_s (Km)$	20119
$\hat{\lambda}$	2,535E-03	$\theta (Km)$	11202
ρ	8,93E-05	$\theta_i (Km)$	6867

Tabela 85.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2289.

UTE 2289			
$\hat{\beta}$	0,813	$\theta_s (Km)$	111098
$\hat{\lambda}$	1,675E-04	$\theta (Km)$	7137
ρ	1,4E-04	$\theta_i (Km)$	4796

Tabela 86.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2290.

UTE 2290			
$\hat{\beta}$	0,821	$\theta_s (Km)$	12788
$\hat{\lambda}$	1,363E-03	$\theta (Km)$	7841
ρ	1,28E-04	$\theta_i (Km)$	5057

Tabela 87.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2291.

UTE 2291			
$\hat{\beta}$	0,9193	$\theta_s (Km)$	11689
$\hat{\lambda}$	4,115E-04	$\theta (Km)$	7025
ρ	1,42E-04	$\theta_i (Km)$	4433

Tabela 88.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2292.

UTE 2292			
$\hat{\beta}$	1,131	$\theta_s (Km)$	9384
$\hat{\lambda}$	3,082E-05	$\theta (Km)$	5753
ρ	1,74E0-04	$\theta_i (Km)$	3745

Tabela 89.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2293.

UTE 2293			
$\hat{\beta}$	1,0668	$\theta_s (Km)$	8873
$\hat{\lambda}$	7,665E-05	$\theta (Km)$	5440
ρ	1,84E-04	$\theta_i (Km)$	3542

Tabela 90.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2295.

UTE 2295			
$\hat{\beta}$	1,3288	$\theta_s (Km)$	7911
$\hat{\lambda}$	2,065E-06	$\theta (Km)$	5482
ρ	1,82E-04	$\theta_i (Km)$	3936

Tabela 91.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2296.

UTE 2296			
$\hat{\beta}$	0,9764	$\theta_s (Km)$	10289
$\hat{\lambda}$	1,98E-04	$\theta (Km)$	6971
ρ	1,42E-04	$\theta_i (Km)$	4942

Tabela 92.B – Dados para o Cálculo do MTBF e respetivo intervalo de confiança da UTE 2297.

UTE 2297			
$\hat{\beta}$	0,9465	$\theta_s (Km)$	11065
$\hat{\lambda}$	2,776E-04	$\theta (Km)$	7496
ρ	1,33E-04	$\theta_i (Km)$	5315

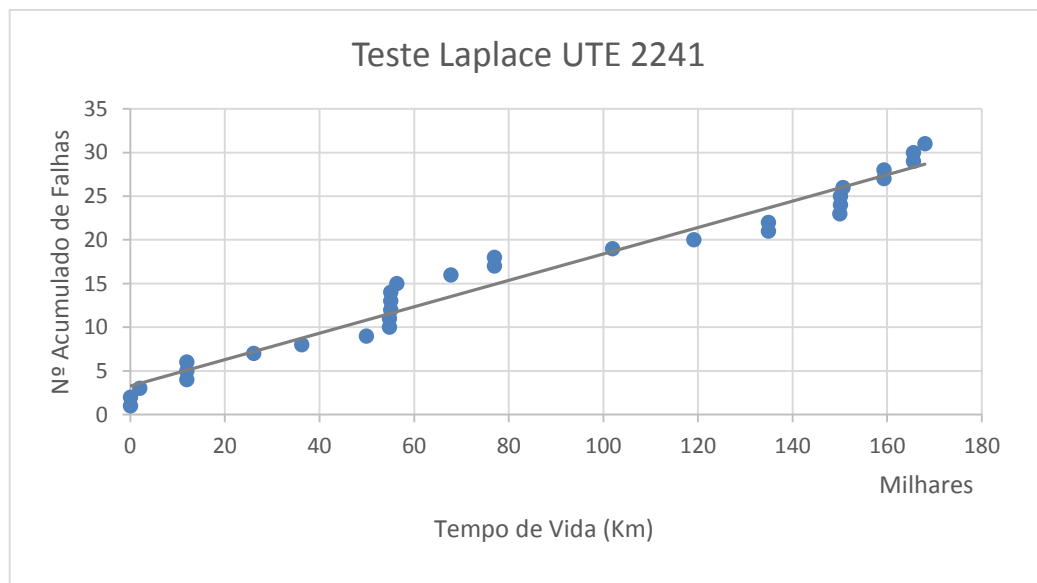


Figura 1.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2241.

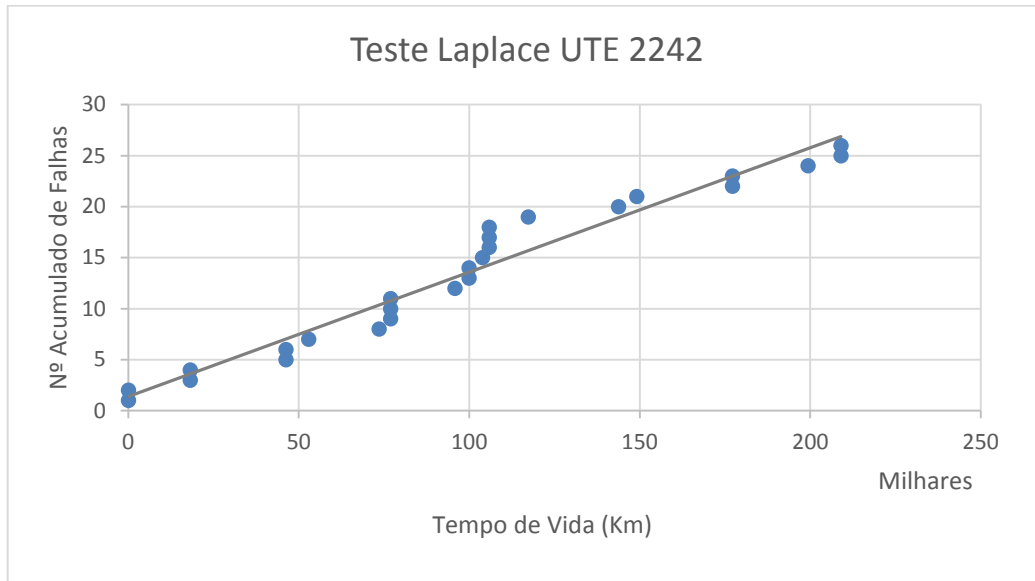


Figura 2.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2242.

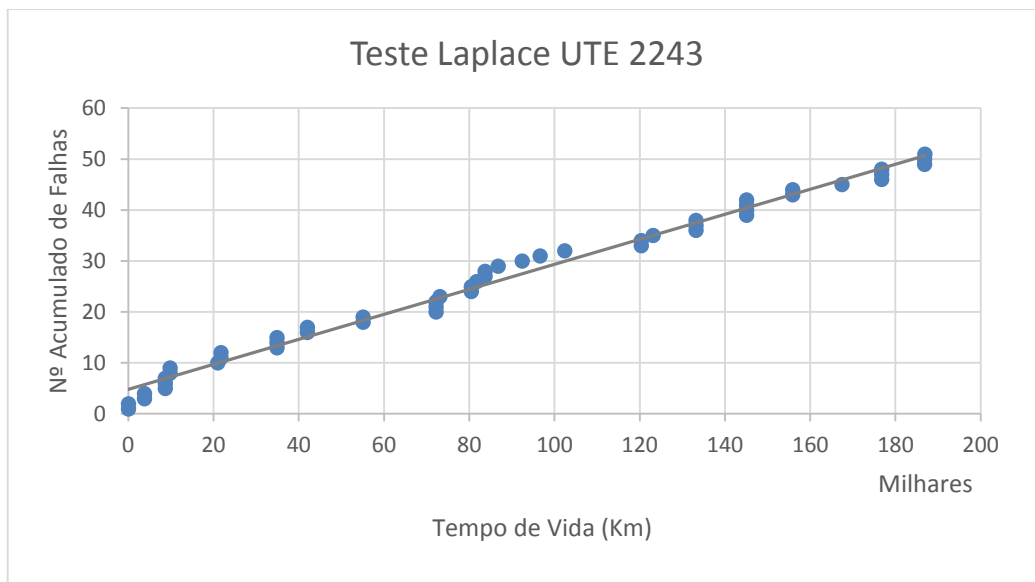


Figura 3.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2243.

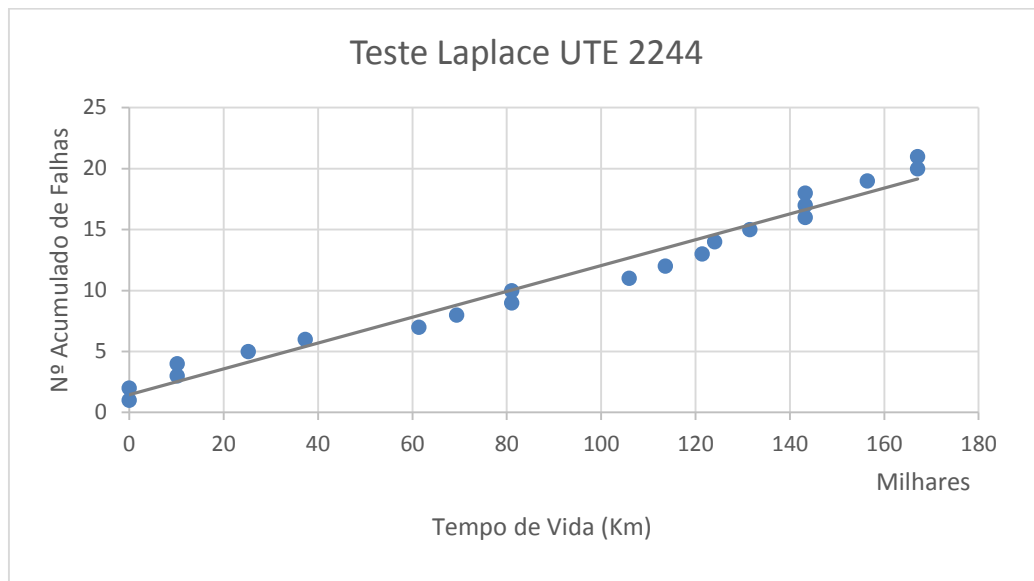


Figura 4.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2244.

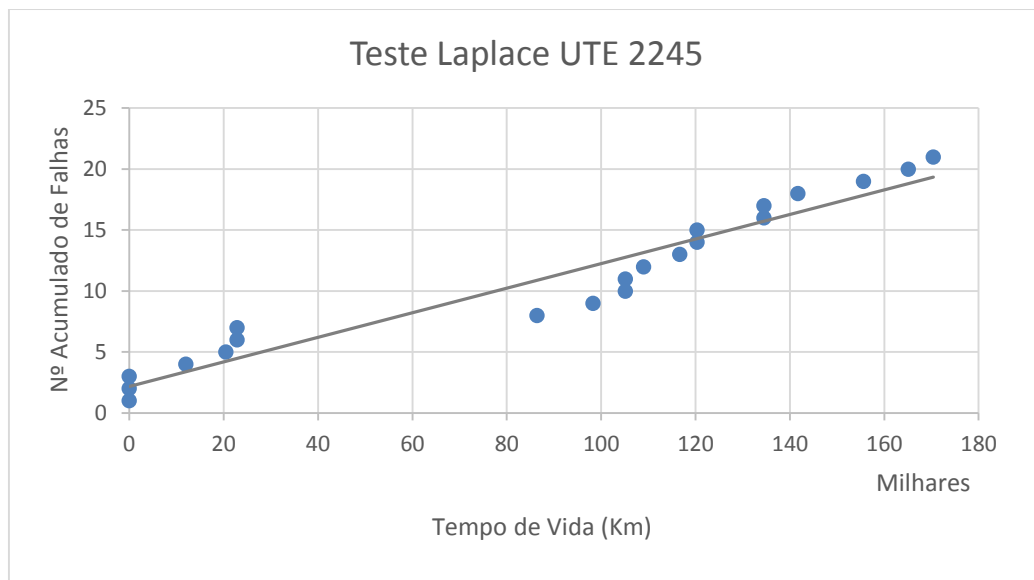


Figura 5.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2245.

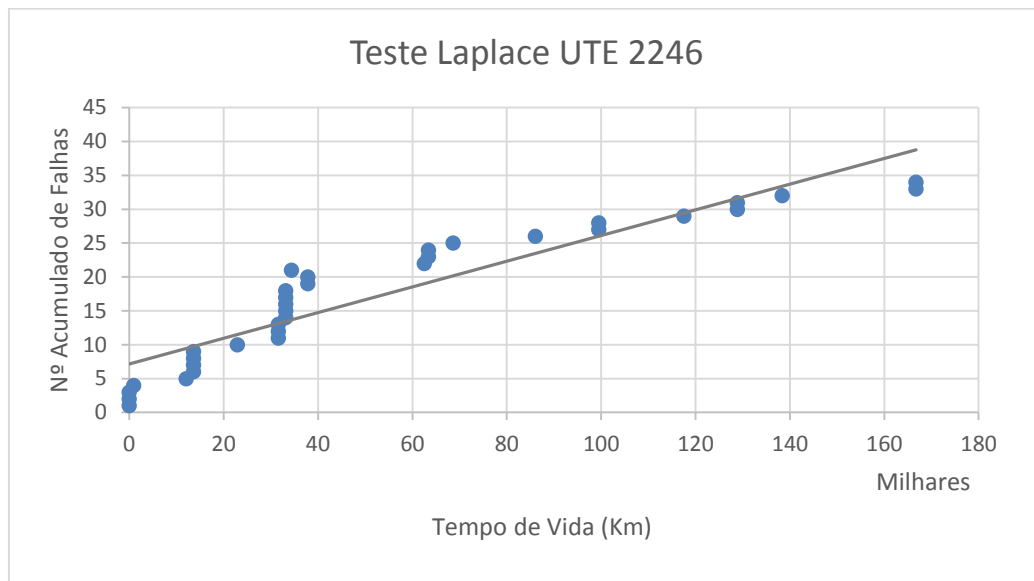


Figura 6.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2246.

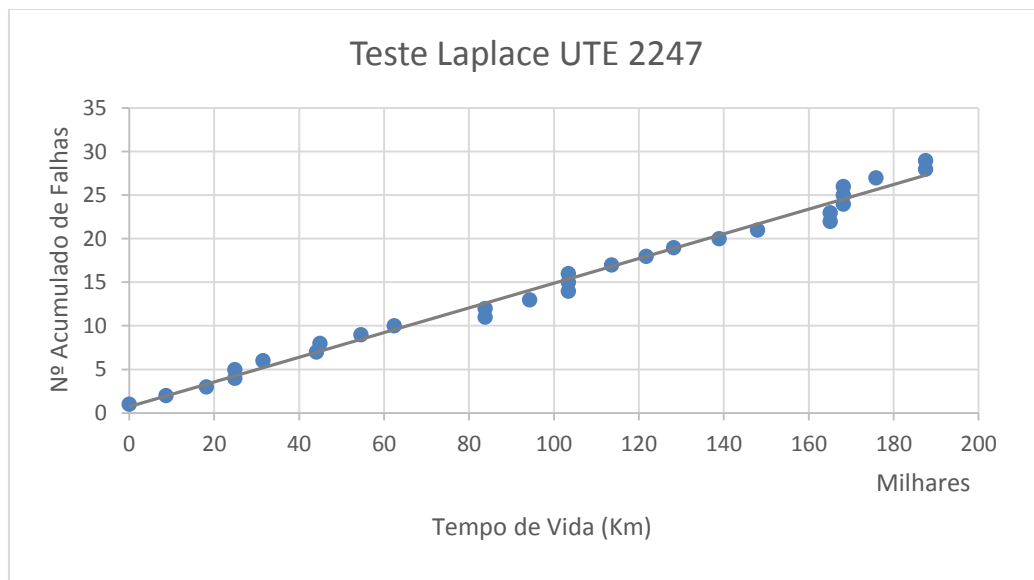


Figura 7.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2247.

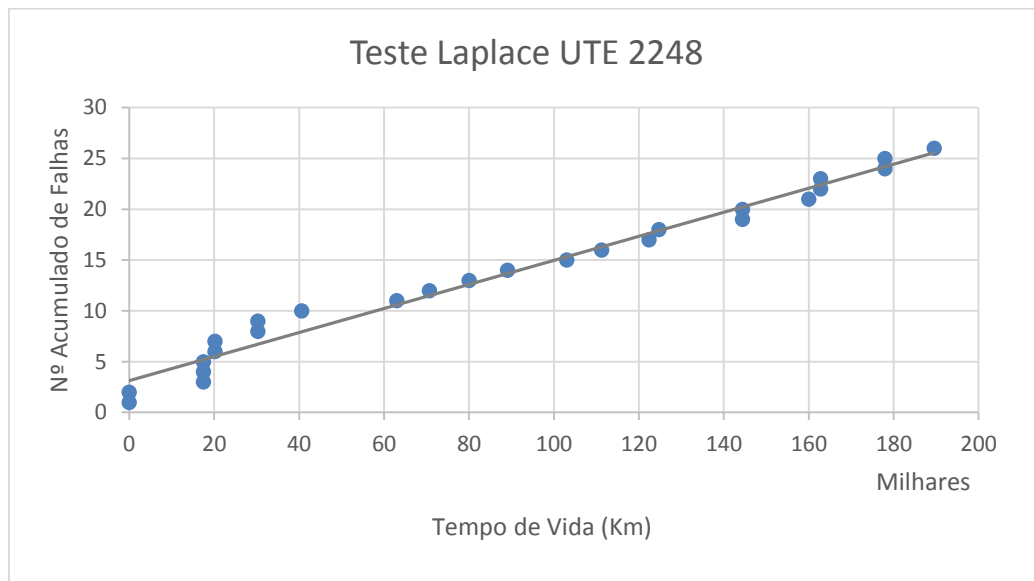


Figura 8.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2248.

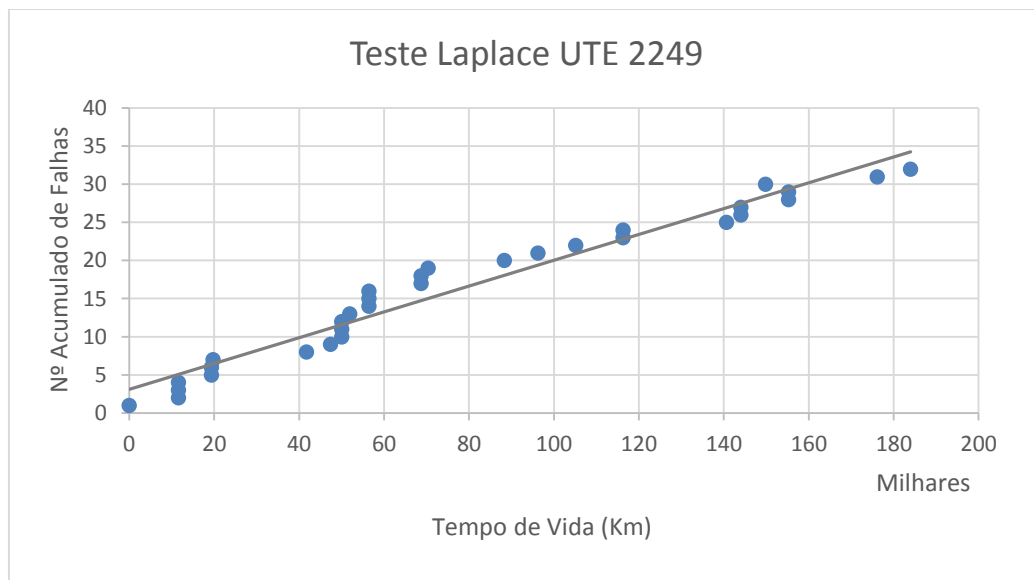


Figura 9.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2249.

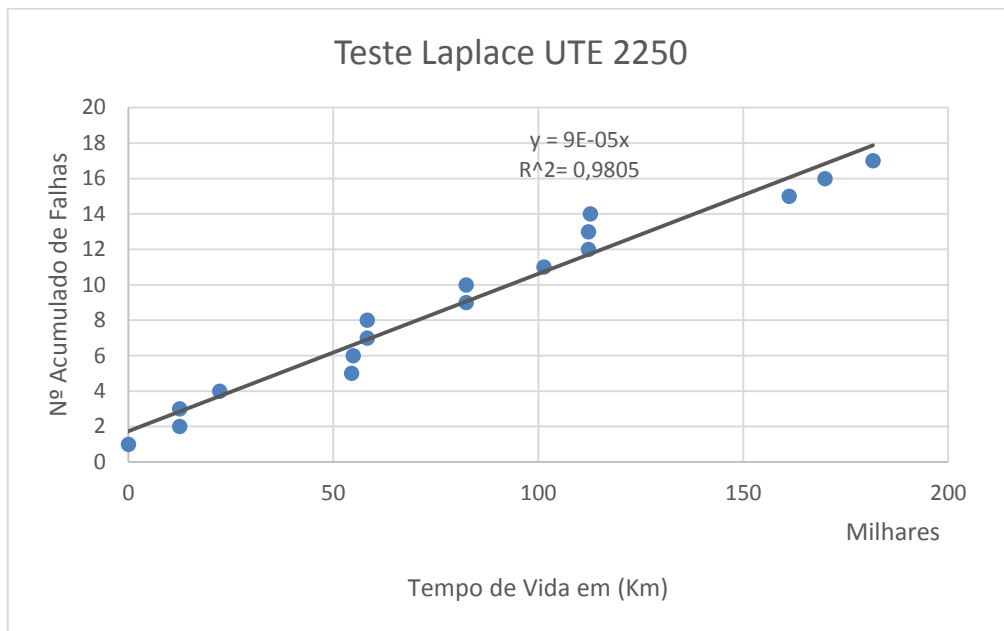


Figura 10.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2250.

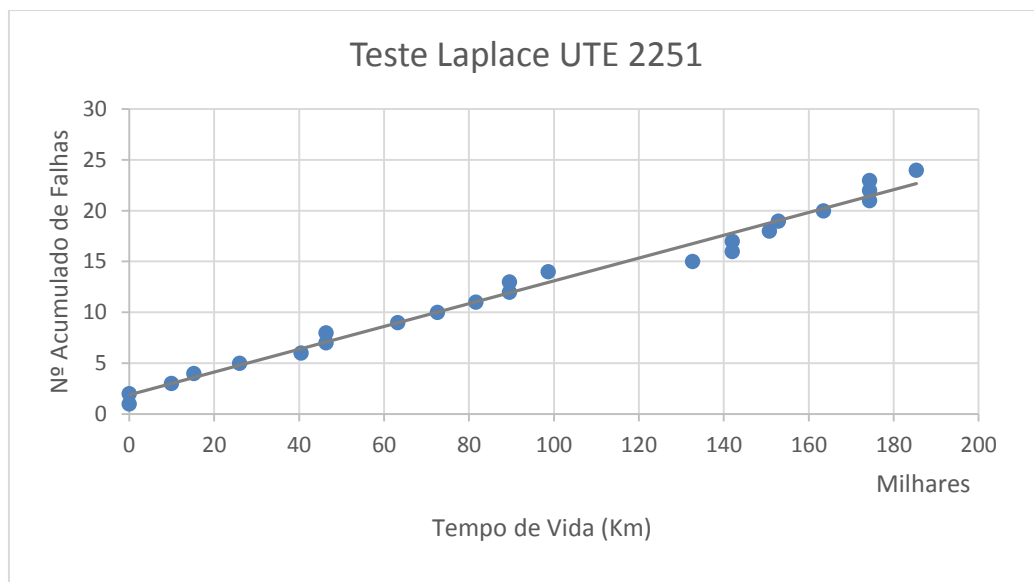


Figura 11.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2251.

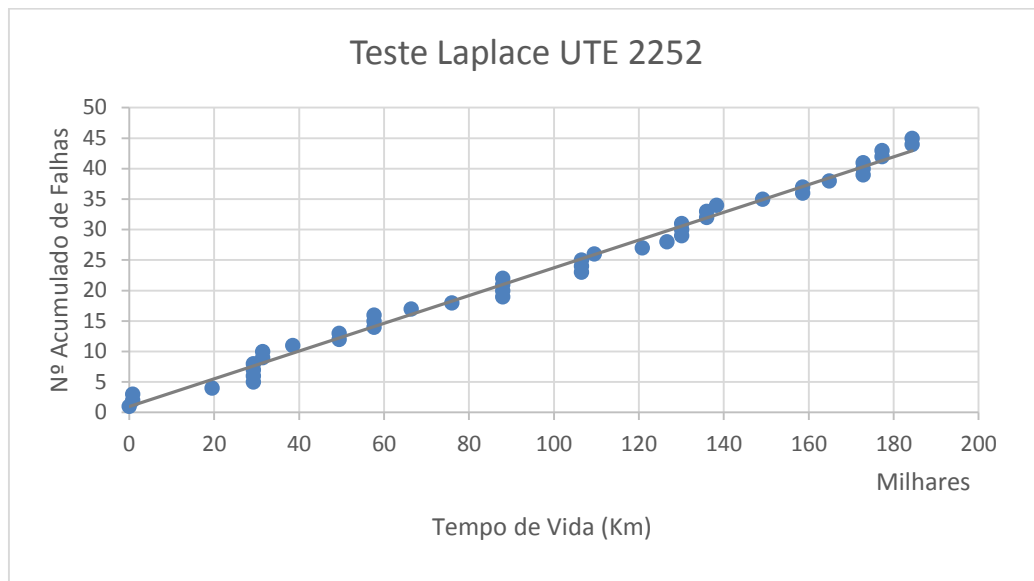


Figura 12.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2252.

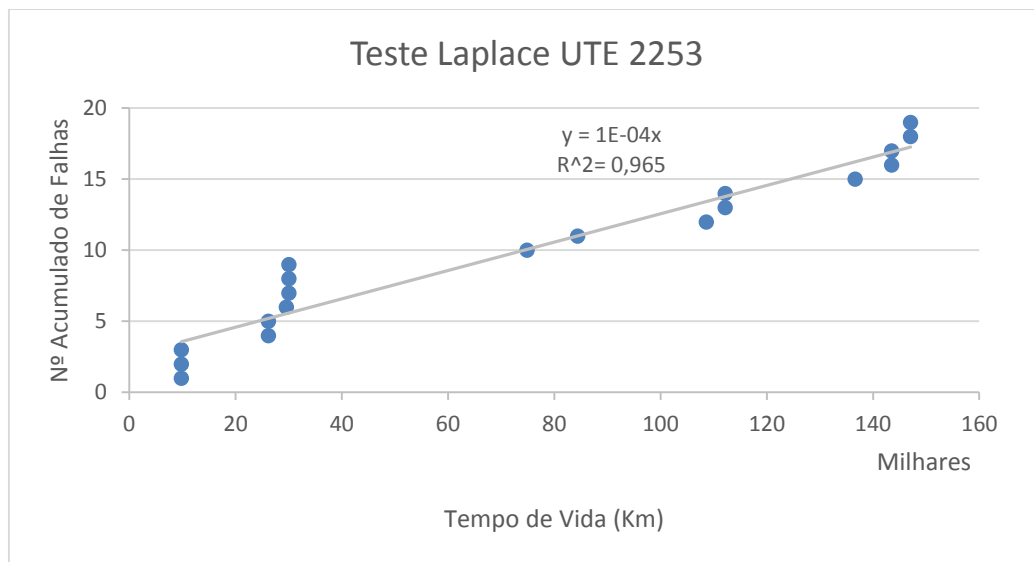


Figura 13.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2253.

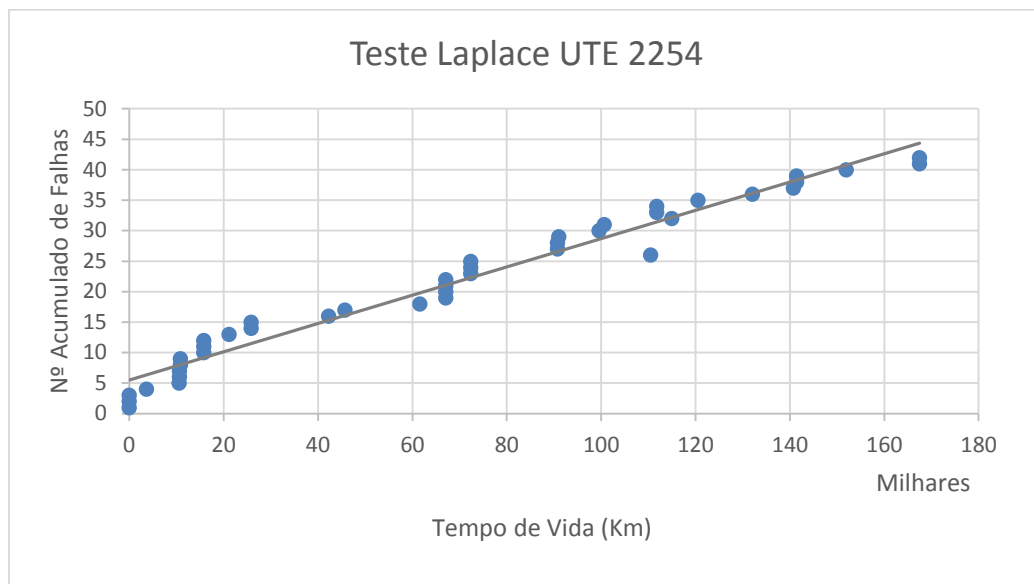


Figura 14.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2254.

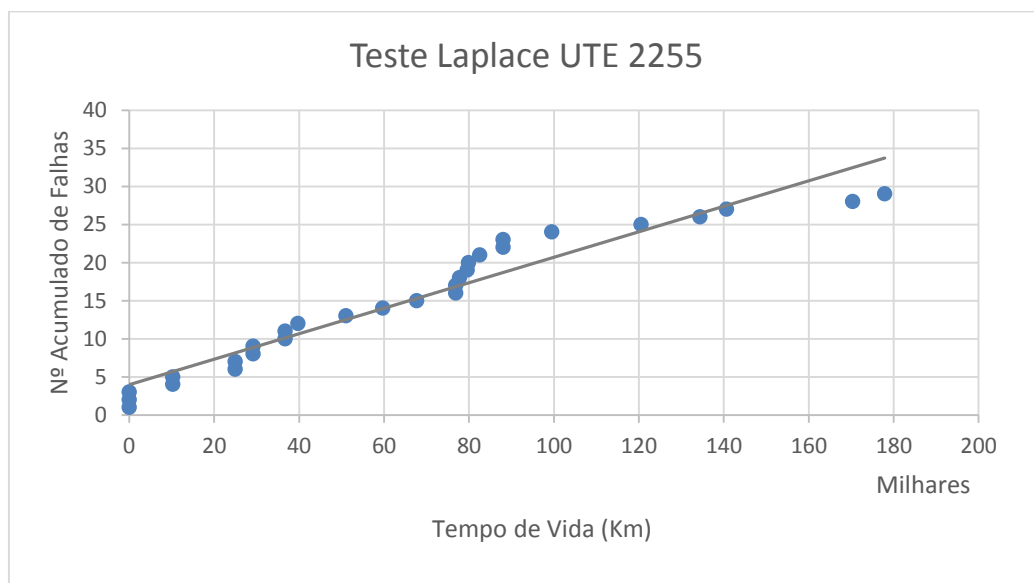


Figura 15.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2255.

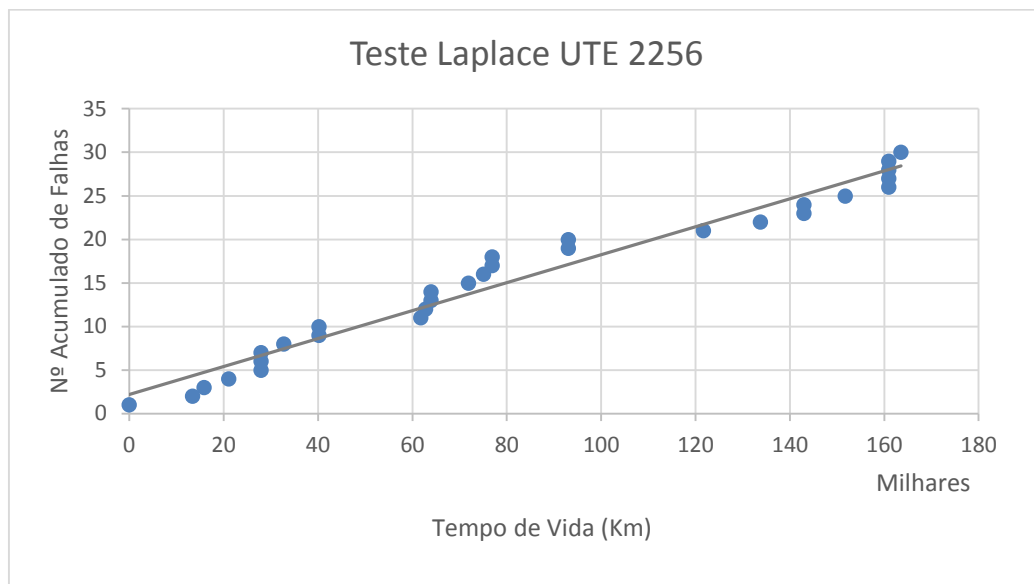


Figura 16.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2256.

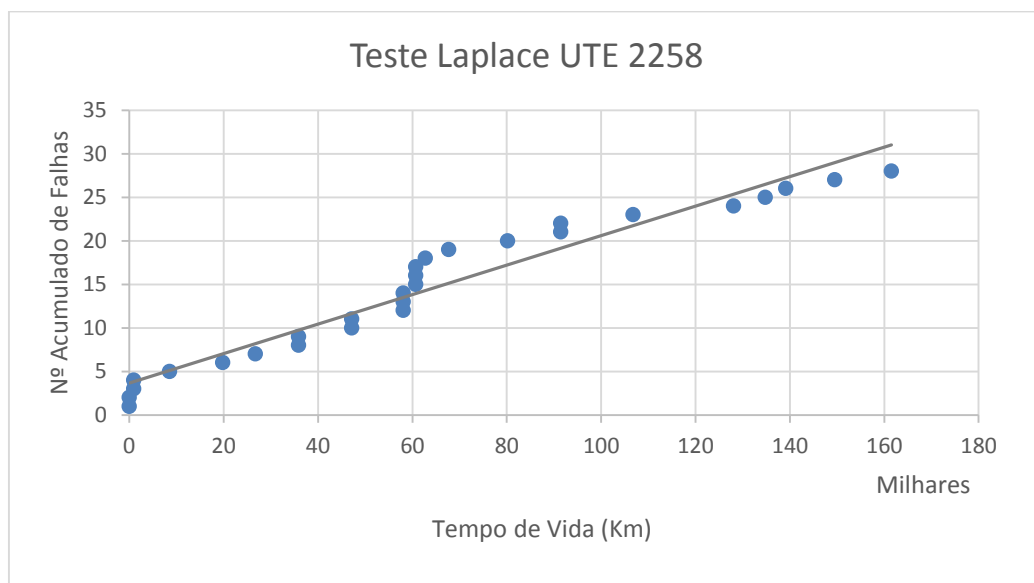


Figura 17.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2258.

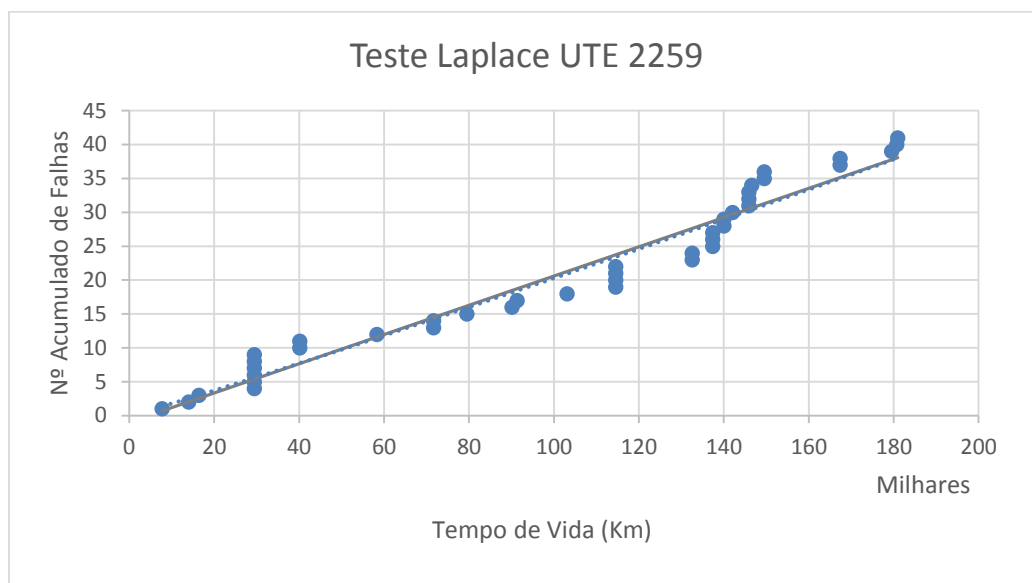


Figura 18.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2259.

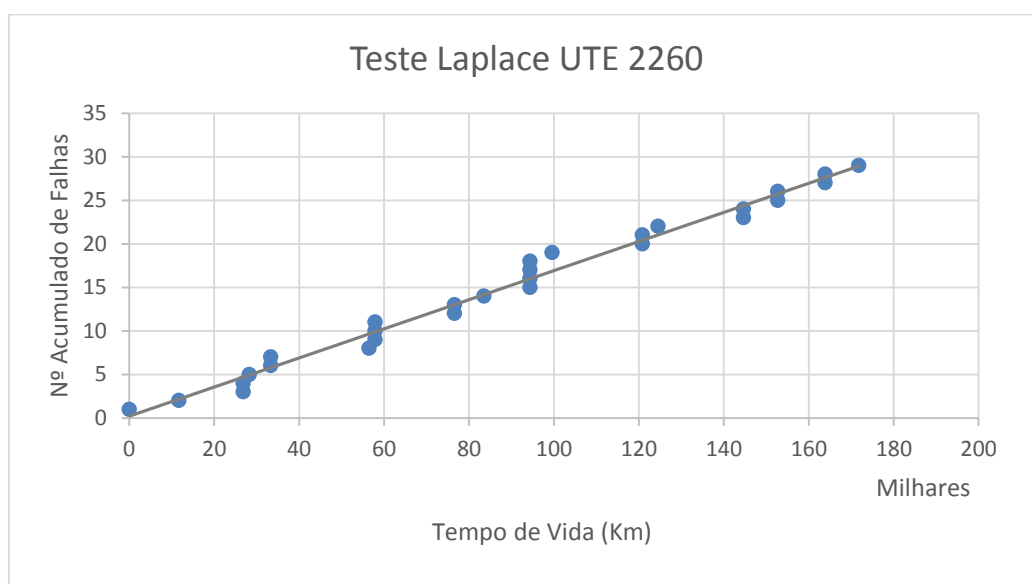


Figura 19.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2260.

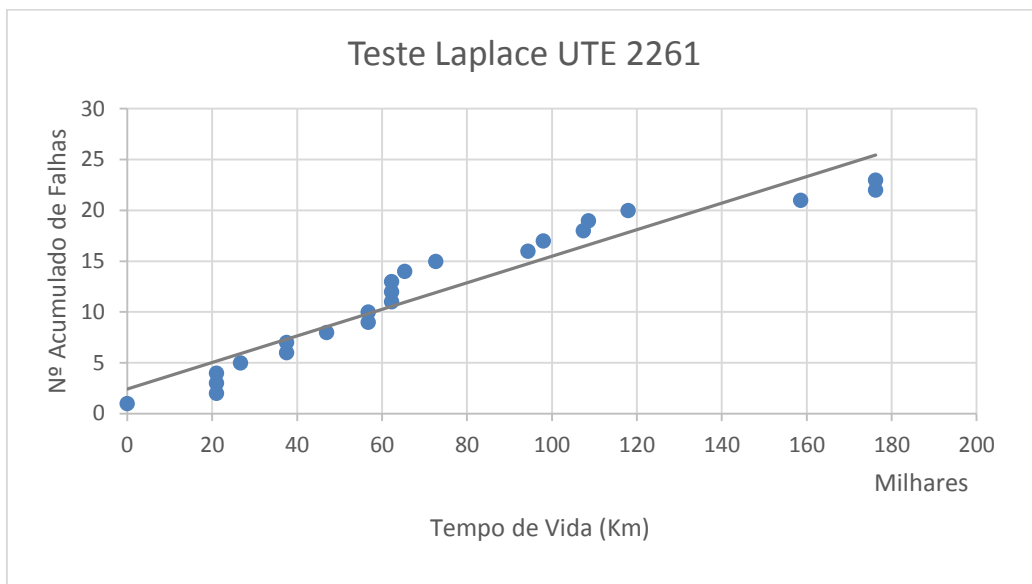


Figura 20.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2261.

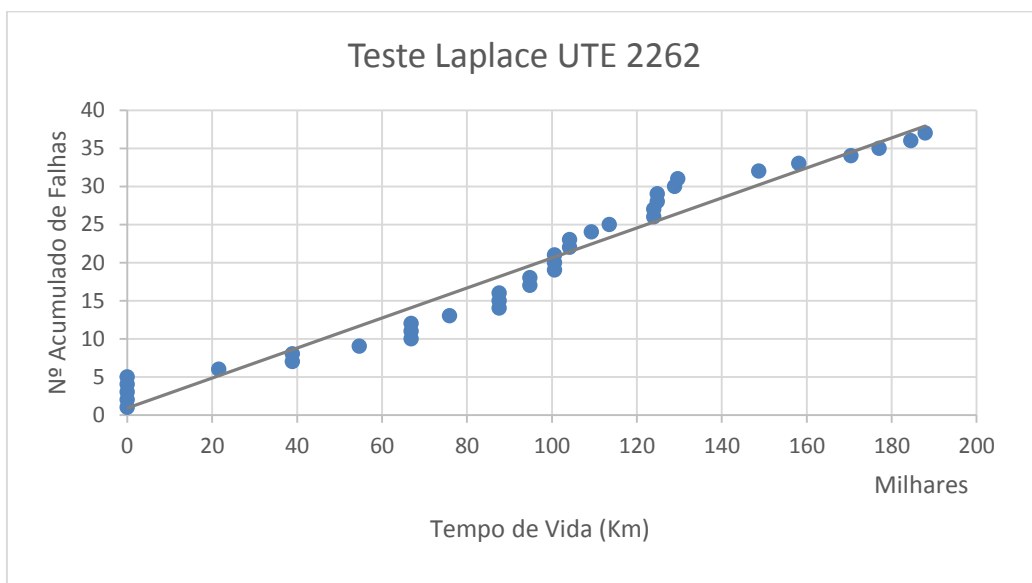


Figura 21.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2262.

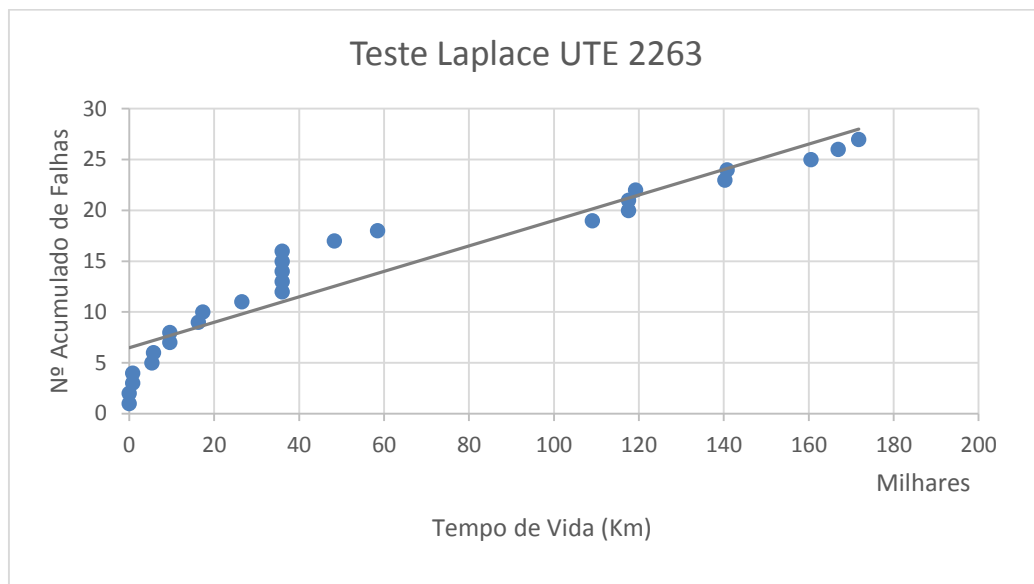


Figura 22.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2263.

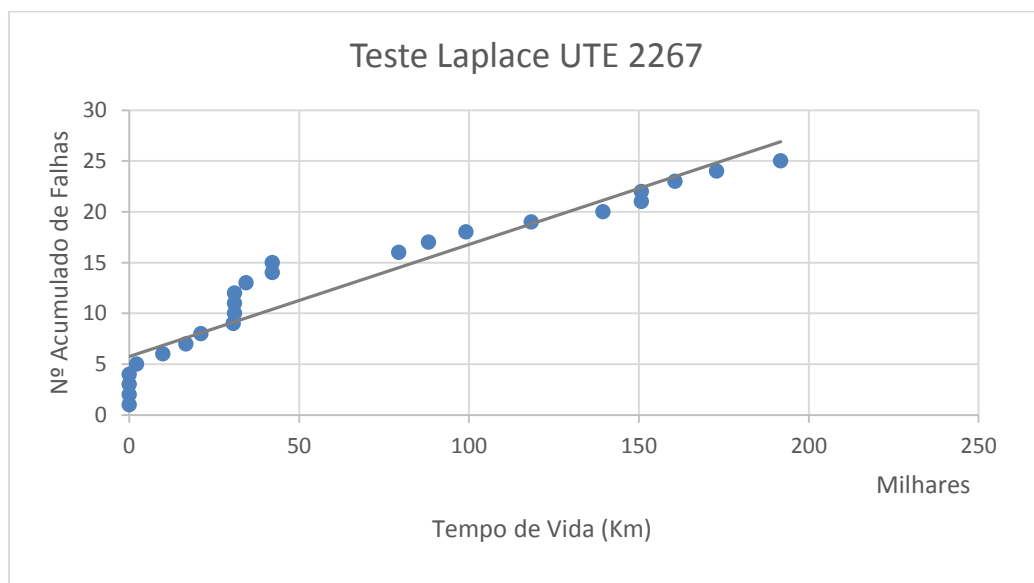


Figura 23.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2267.

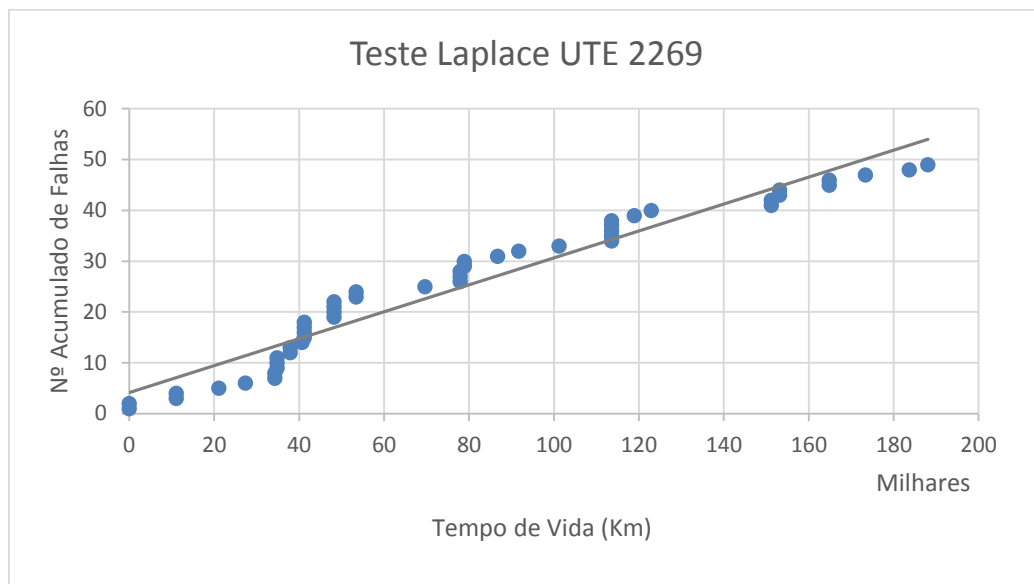


Figura 24.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2269.

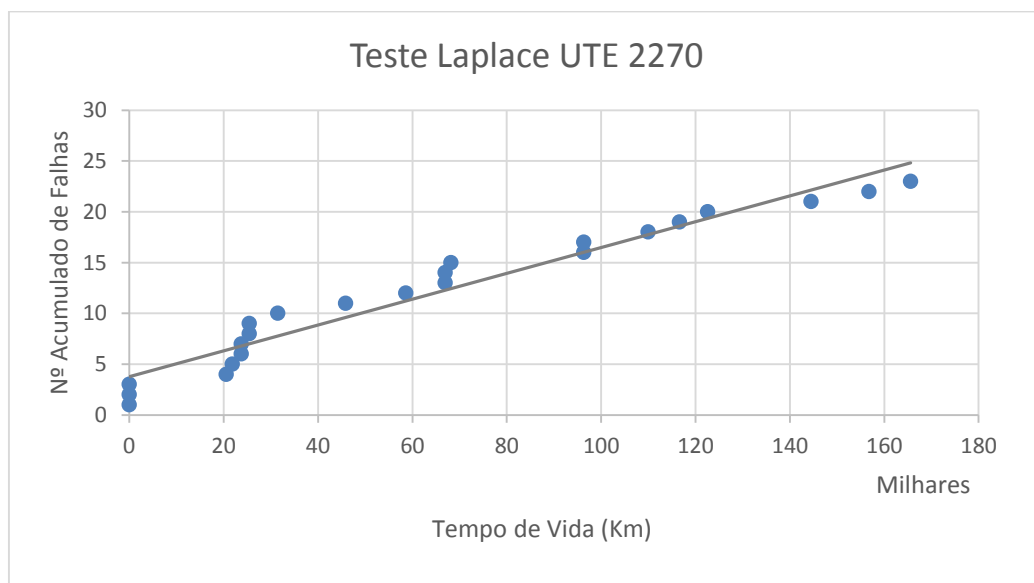


Figura 25.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2270.

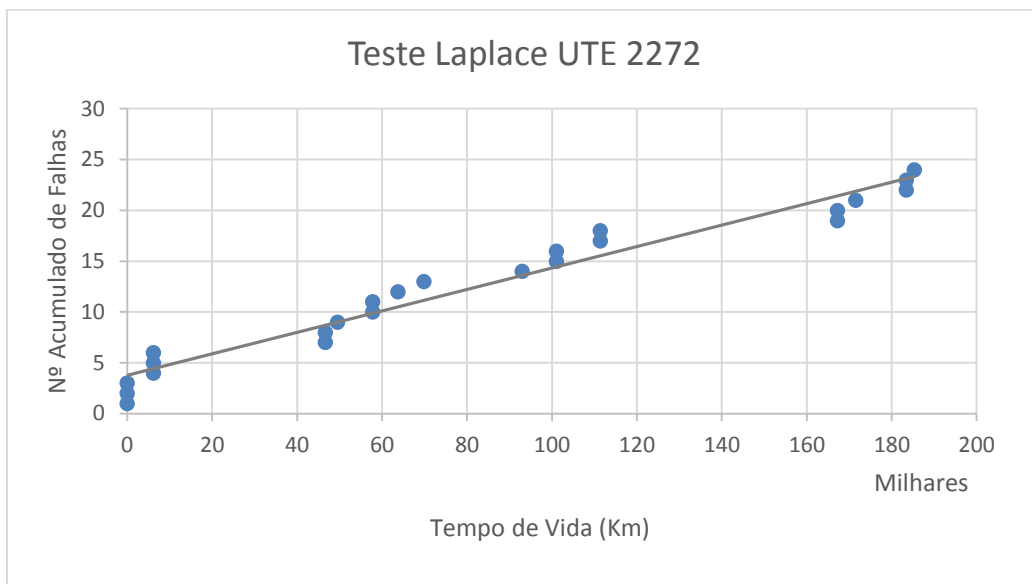


Figura 26.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2272.

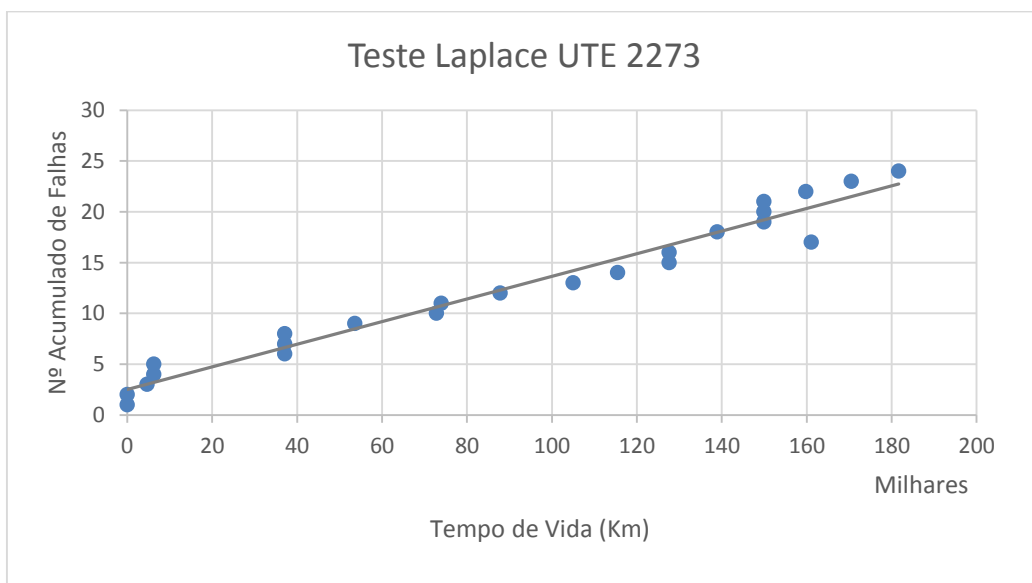


Figura 27.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2273.

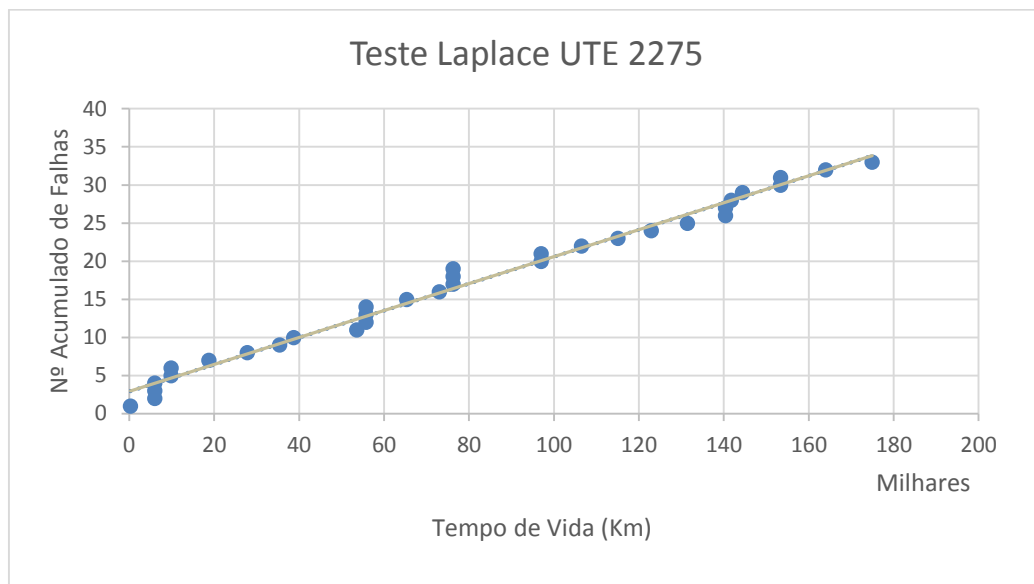


Figura 28.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2275.

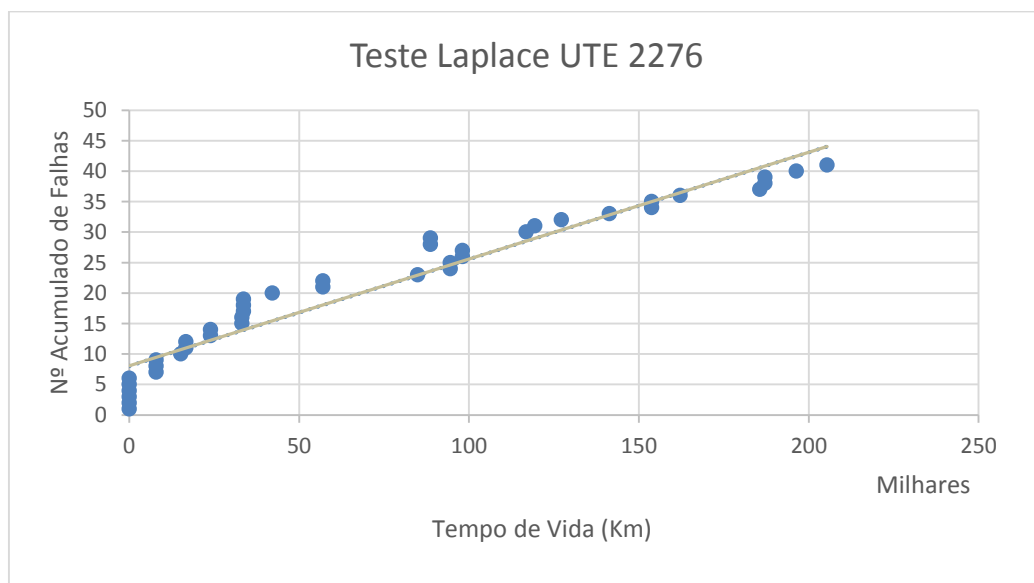


Figura 29.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2276.

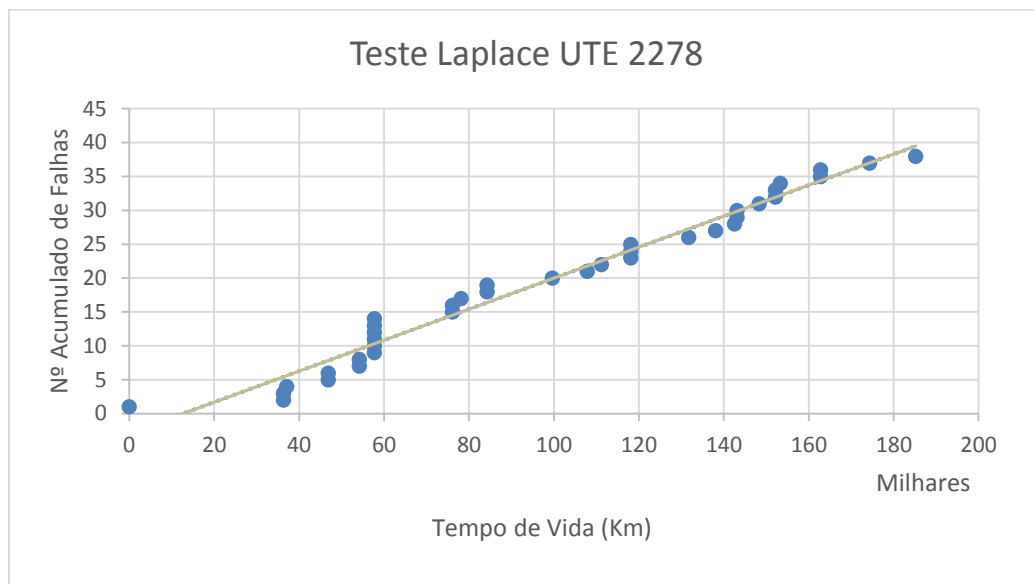


Figura 30.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2278.

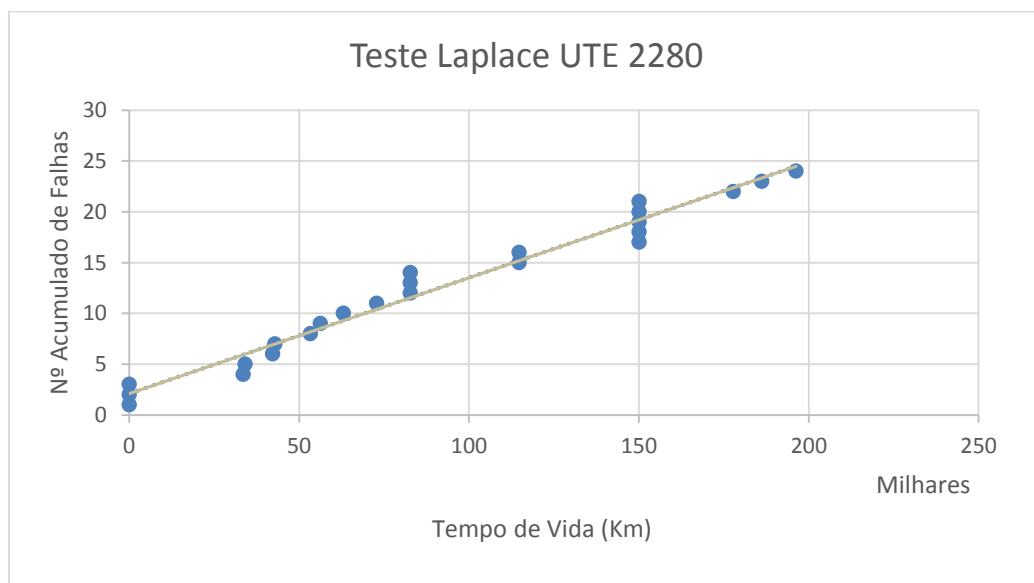


Figura 31.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2280.

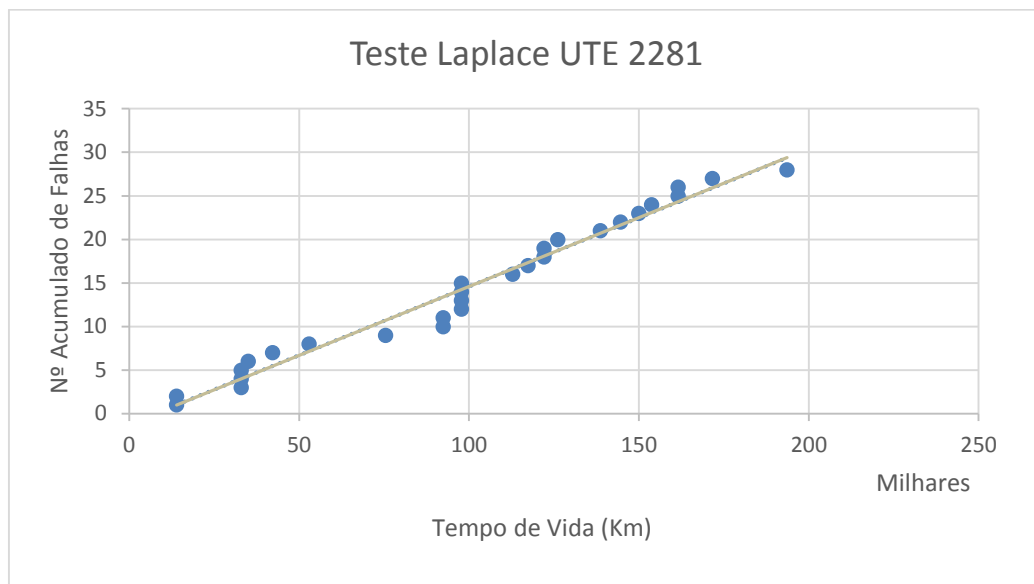


Figura 32.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2281.

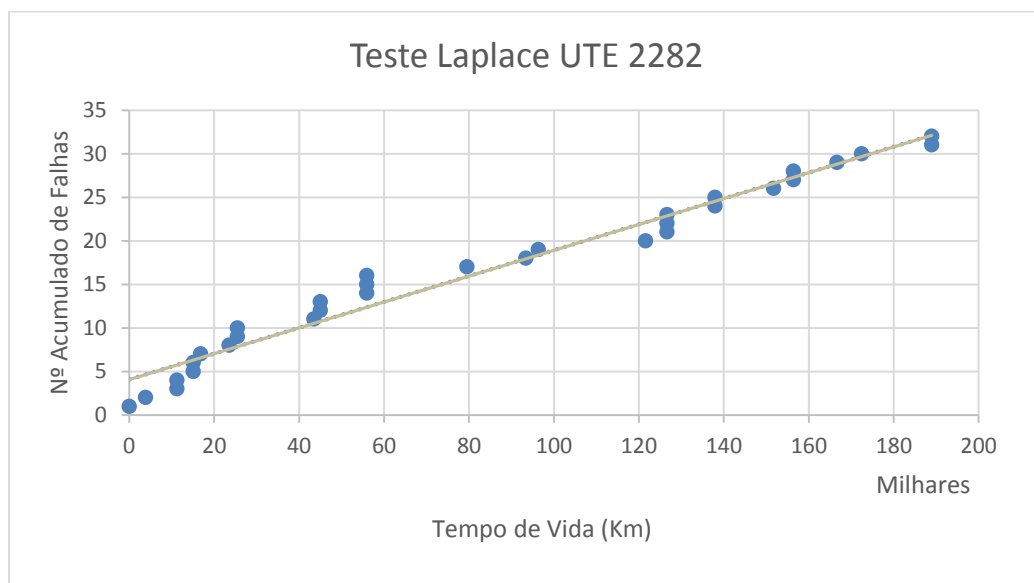


Figura 33.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2282.

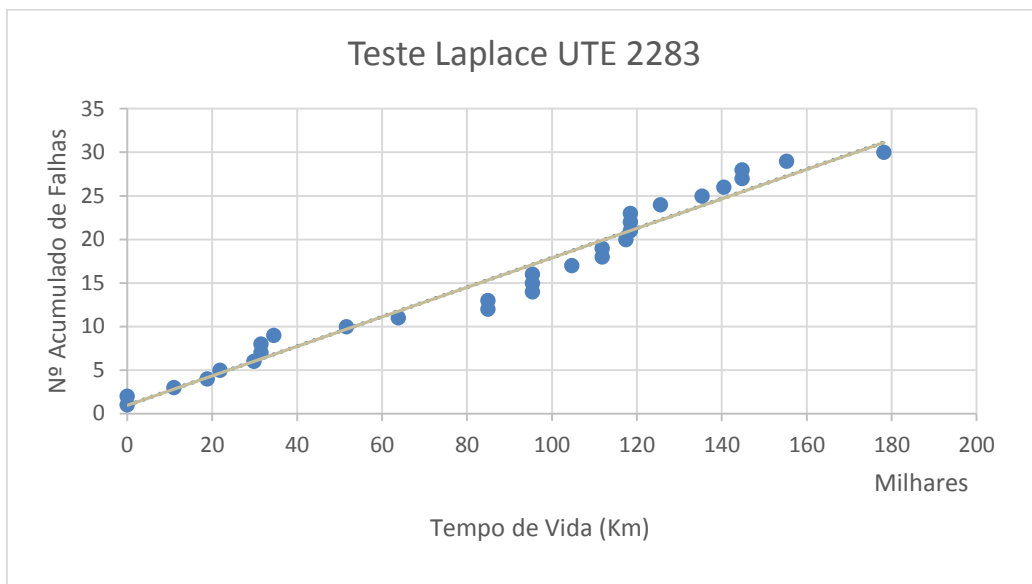


Figura 34.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2283.

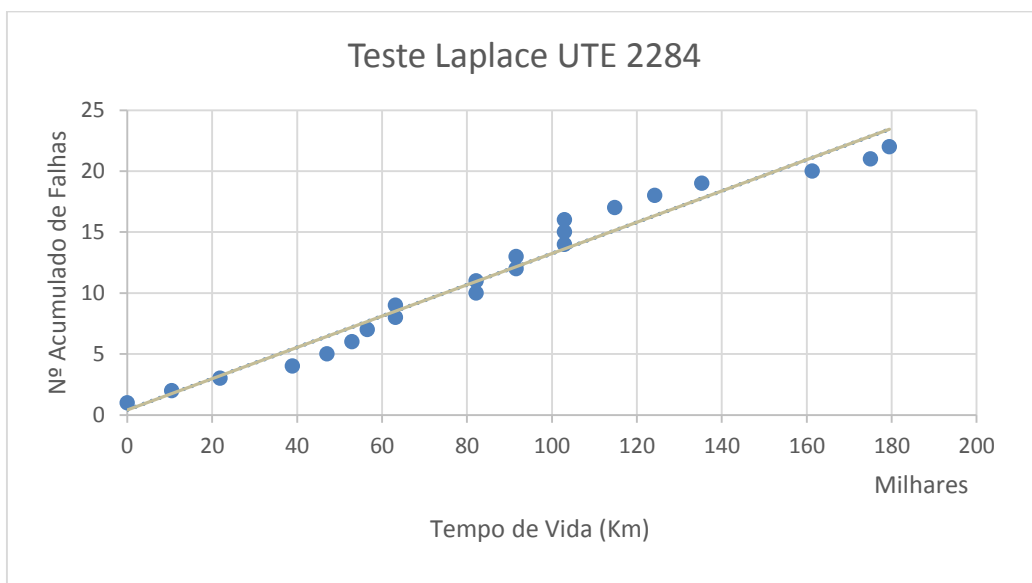


Figura 35.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2284.

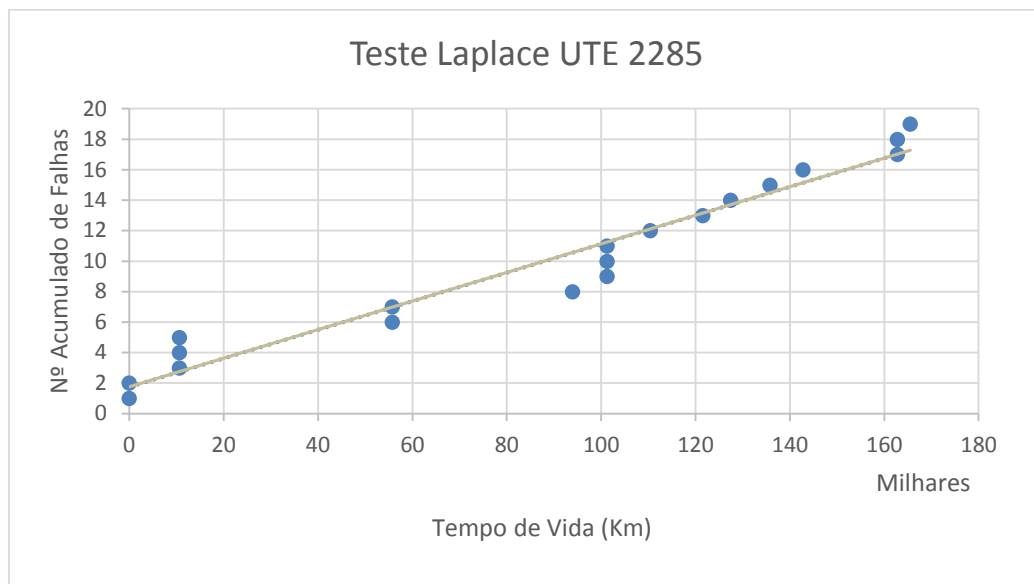


Figura 36.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2285.

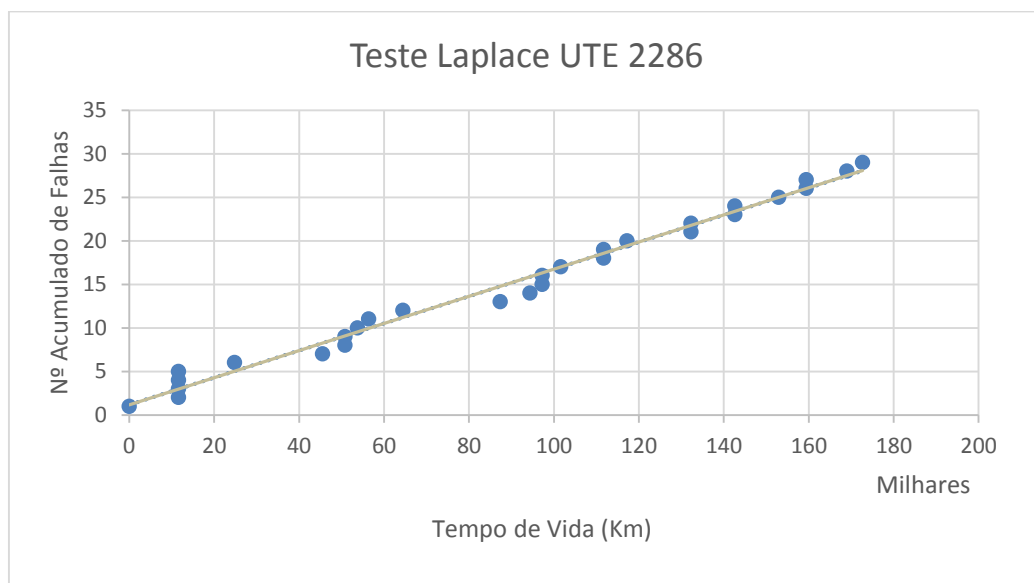


Figura 37.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2286.

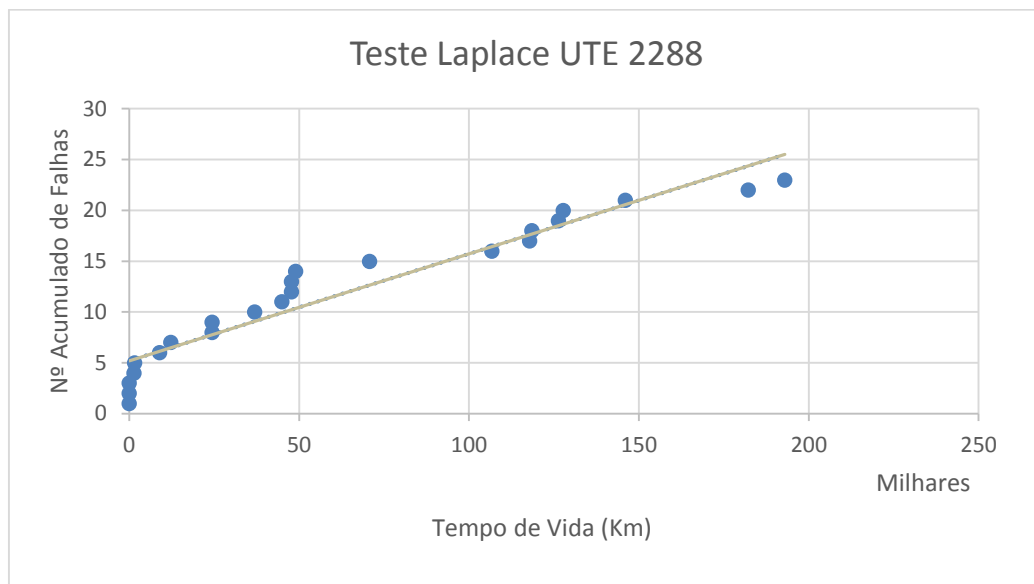


Figura 38.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2288.

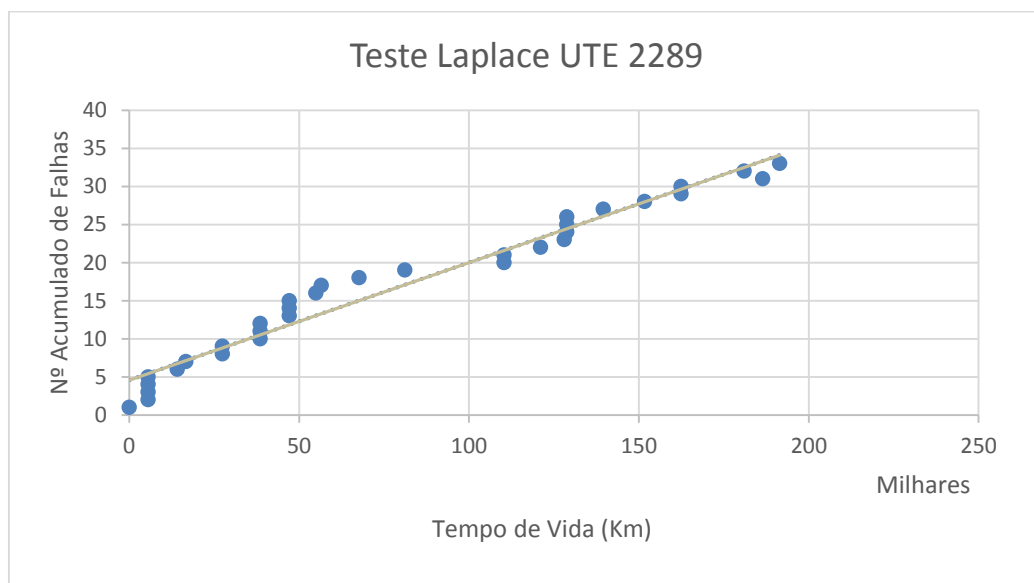


Figura 39.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2289.

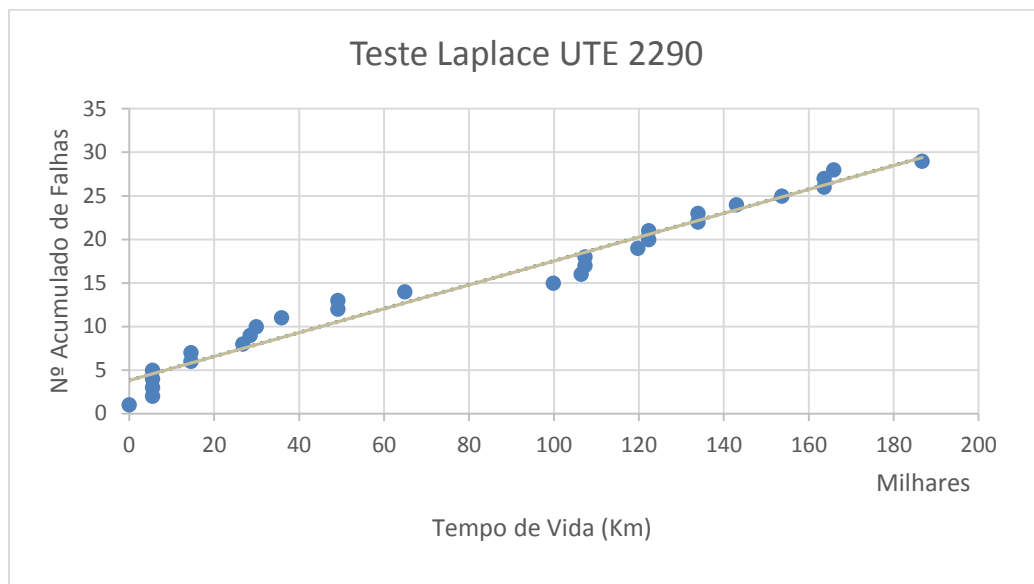


Figura 40.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2290.

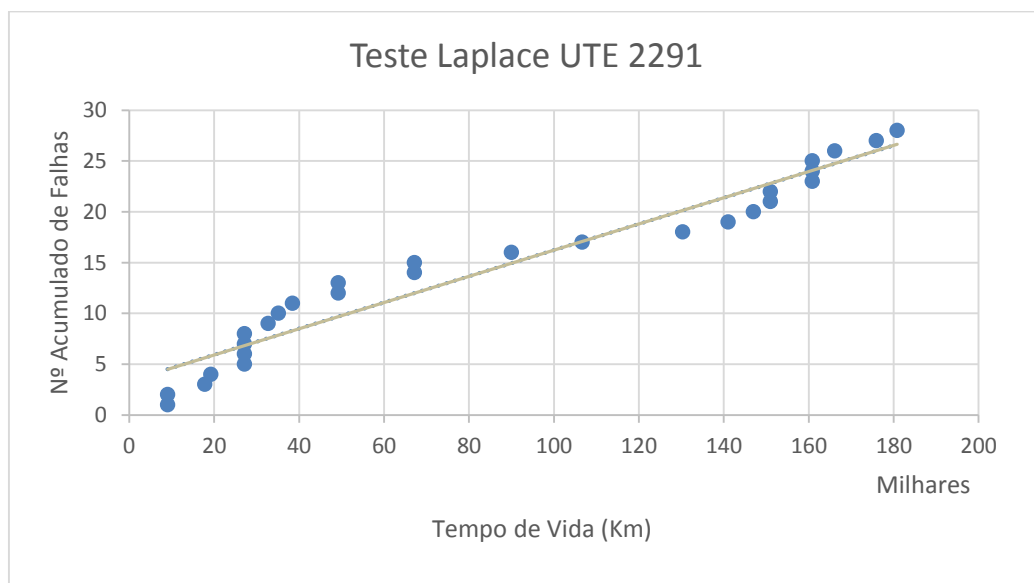


Figura 41.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2291.

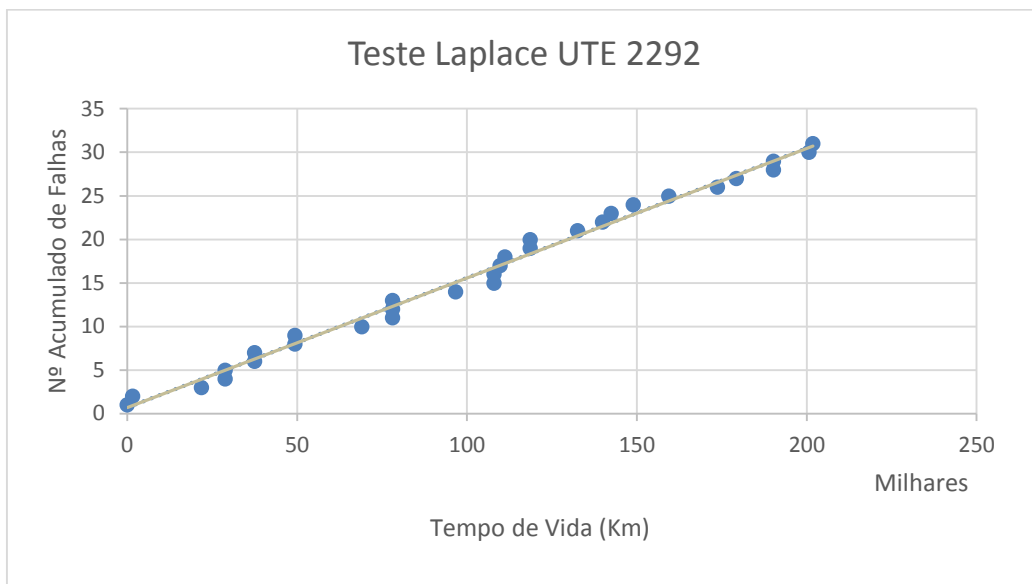


Figura 42.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2292.

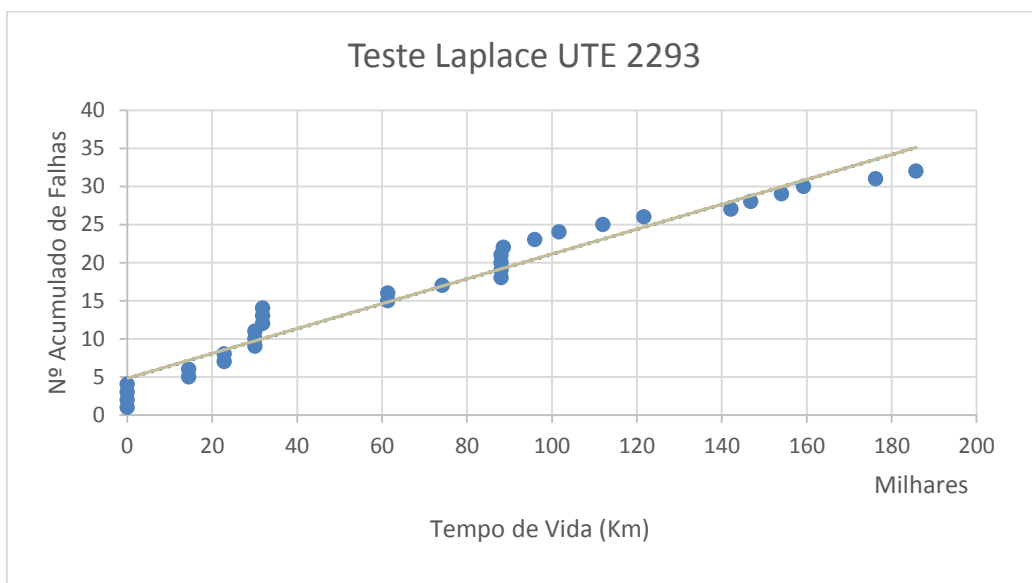


Figura 43.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2293.

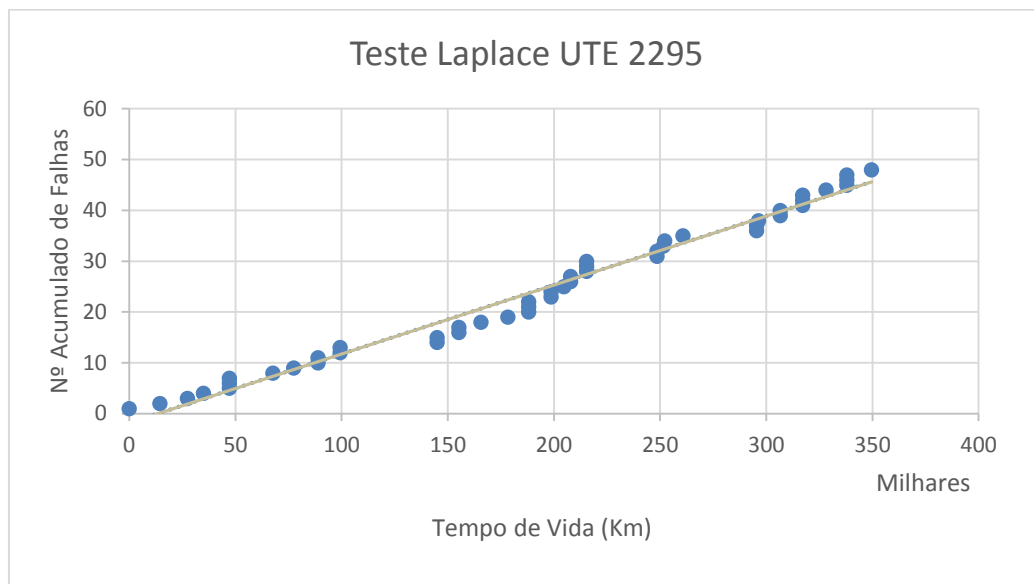


Figura 44.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2295.

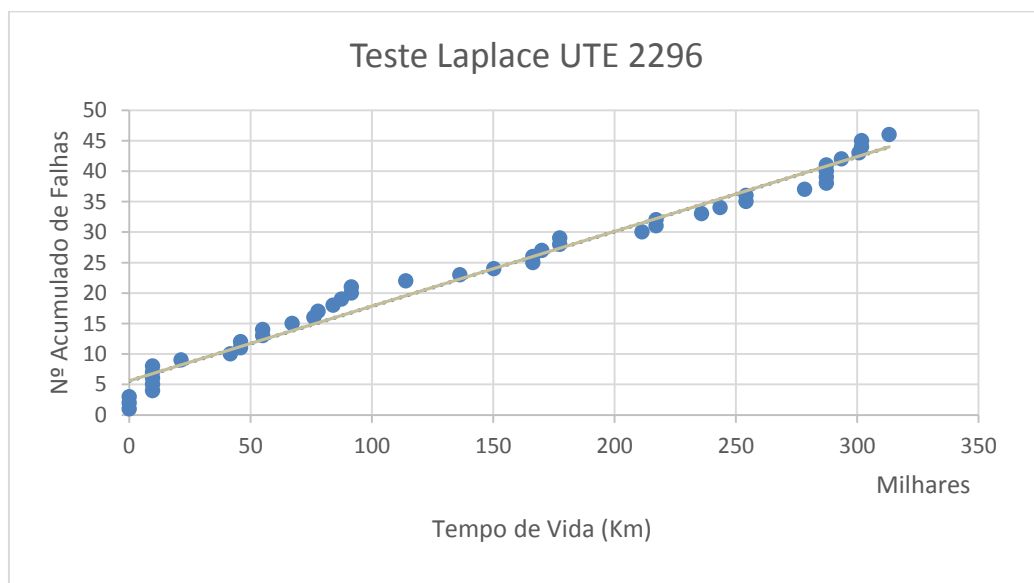


Figura 45.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2296.

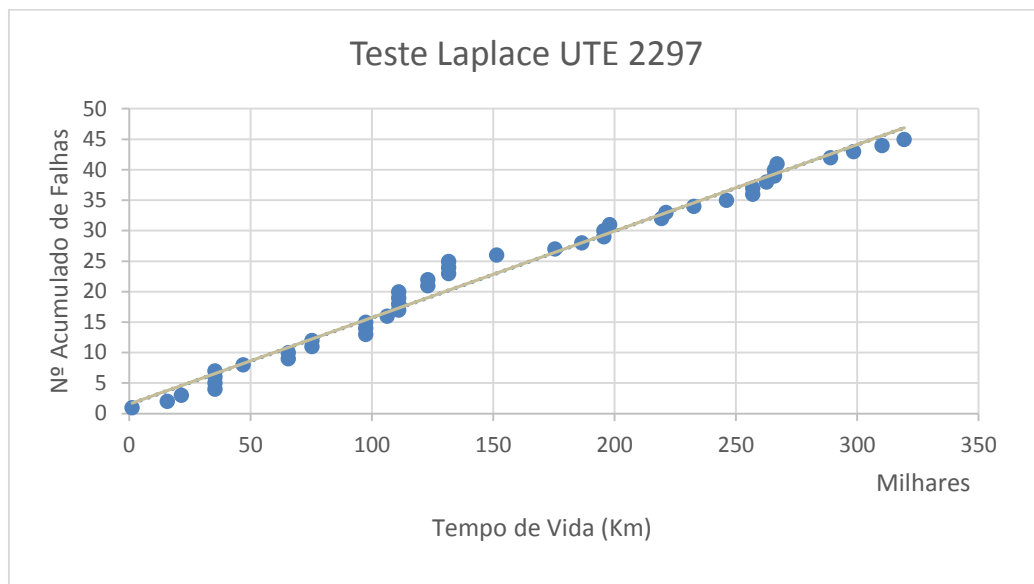


Figura 46.B – Gráfico do Teste de Laplace da UTE 2297.